

Руководство по охране окружающей среды, здоровья и труда для целлюлозно-бумажной промышленности

Введение

Руководства по охране окружающей среды, здоровья и труда (ОСЗТ) представляют собой технические справочники, содержащие примеры надлежащей международной отраслевой практики (НМОП)¹ как общего характера, так и относящиеся к конкретным отраслям. Если в реализации проекта участвует один член Группы организаций Всемирного банка или более, применение настоящего Руководства осуществляется в соответствии с принятыми в этих странах стандартами и политикой. Такие Руководства по ОСЗТ для различных отраслей промышленности следует применять в сочетании с **Общим руководством по ОСЗТ** – документом, в котором пользователи могут найти указания по общим вопросам ОСЗТ, потенциально применимым ко всем отраслям промышленности. При осуществлении комплексных проектов может возникнуть необходимость в использовании нескольких Руководств, касающихся различных отраслей промышленности. С полным перечнем Руководств для отраслей промышленности можно ознакомиться по адресу: <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

¹ Определяется как применение профессиональных навыков и проявление старательности, благоразумия и предусмотрительности, чего следует с достаточным на то основанием ожидать от квалифицированного и опытного специалиста, занятого аналогичным видом деятельности в таких же или сходных условиях в любом регионе мира. При оценке применяемых в ходе реализации проекта способов предупреждения и предотвращения загрязнения окружающей среды квалифицированный и опытный специалист может выявить обстоятельства, такие, например, как различные уровни экологической деградации и ассимилирующей способности окружающей среды, а также различные уровни финансовой и технической осуществимости.

В Руководствах по ОСЗТ приводятся такие уровни и параметры эффективности, которые, как правило, считаются достижимыми на вновь введенных в эксплуатацию объектах при современном уровне технологии и приемлемых затратах. Применение положений Руководств по ОСЗТ к уже существующим объектам может потребовать разработки особых целевых показателей для каждого объекта и соответствующего графика их достижения.

Применение Руководства по ОСЗТ следует увязывать с факторами опасности и риска, определенными для каждого проекта на основе результатов экологической оценки, в ходе которой принимаются во внимание конкретные для каждого объекта переменные, такие, как особенности страны реализации проекта, ассимилирующая способность окружающей среды и прочие факторы, связанные с намечаемой деятельностью. Порядок применения конкретных технических рекомендаций следует разрабатывать на основе экспертного мнения квалифицированных и опытных специалистов.

Если нормативные акты в стране реализации проекта предусматривают уровни и параметры, отличные от содержащихся в Руководствах по ОСЗТ, то при реализации проекта надлежит в каждом случае руководствоваться более жестким из имеющихся вариантов. Если в силу особых условий реализации конкретного проекта целесообразно применение менее жестких уровней или параметров, нежели те, что представлены в настоящем Руководстве по ОСЗТ, в рамках экологической оценки по

конкретному объекту надлежит представить подробное и исчерпывающее обоснование любых предлагаемых альтернатив. Такое обоснование должно продемонстрировать, что выбор любого из альтернативных уровней результативности обеспечит охрану здоровья населения и окружающей среды.

Применение

Руководство по ОСЗТ для целлюлозно-бумажной промышленности содержит информацию, касающуюся предприятий по производству целлюлозы и бумаги, в том числе по производству целлюлозы из древесины химическими и механическими способами, из вторичного волокна, а также из недревесного сырья, такого, как багасса, солома и тростник. Оно не касается вопросов производства или сбора сырья, которые рассматриваются в других соответствующих Руководствах по ОСЗТ. Описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли, содержится в Приложении А.

Настоящий документ состоит из следующих разделов:

Раздел 1.0 – Характерные для отрасли виды неблагоприятного воздействия и борьба с ними

Раздел 2.0 – Показатели эффективности и мониторинг

Раздел 3.0 – Справочная литература и дополнительные источники информации

Приложение А – Общее описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли

Приложение В – Нормативы выбросов и сбросов / Контрольные показатели использования ресурсов

1.0 Характерные для отрасли виды неблагоприятного воздействия и борьба с ними

В данном разделе приводится обзор проблем ОСЗТ, обычно возникающих на этапе эксплуатации целлюлозно-бумажных предприятий, и содержатся рекомендации по их решению. Рекомендации по решению проблем ОСЗТ, характерных для большинства крупных промышленных предприятий на этапах их строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации, содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

1.1 Охрана окружающей среды

К аспектам эксплуатации целлюлозно-бумажных предприятий, оказывающим достаточно существенное воздействие на состояние окружающей среды, относятся:

- Сточные воды
- Выбросы в атмосферу
- Отходы
- Шум

Сточные воды

Целлюлозные и бумажные предприятия могут сбрасывать сточные воды в пределах 10-250 кубометров в расчете на метрическую тонну ($\text{м}^3/\text{т}$) воздушно-сухой целлюлозы (ВСЦ^2). Для неочищенных стоков целлюлозных предприятий характерно высокое содержание твердых взвешенных веществ (ТВВ), в основном, за счет процессов варки, процеживания, промывки и отбеливания целлюлозы, остатков от окорки, а также от рекуперации неорганических химических соединений и наполнителей); высокое биохимическое потребление кислорода (БПК), в основном,

связанное с мокрой окоркой, процеживанием, промывкой и отбеливанием целлюлозы; высокое химическое потребление кислорода (ХПК) и содержание растворенных органических соединений (в основном, связанное с мокрой окоркой, варкой, процеживанием, промывкой и отбеливанием целлюлозы, а также разливами жидкости на установках рекуперации химикатов), причем в число этих соединений могут входить полихлорированные дибензо-п-диоксины (ПХДД) и полихлорированные дибензофураны (ПХДФ), обычно называемые хлорированными диоксинами и фуранами. Когда отбеливание проводится методом ECF (без элементарного хлора) или TCF (полностью без хлора), концентрация диоксинов и фуранов в стоках оказывается ниже предела обнаружения³.

Один из источников азотных и фосфорных соединений, попадающих в сточные воды и, возможно, способствующих эвтрофикации водоприемников, – это древесное сырьё, также являющееся источником смоляных кислот. Смоляные кислоты, особенно образующиеся при производстве целлюлозы из хвойных пород, могут быть токсичными для рыб и бентосных беспозвоночных. В процессе отбеливания целлюлозы с использованием элементарного хлора возможно образование хлорированных фенолов.

К числу прочих проблем, связанных со сбросом сточных вод, могут относиться неприятный привкус рыбы, изменение цвета воды вследствие высокого ХПК и сбросов чёрного щёлока, разливы целлюлозной массы из переполненных резервуаров и поверхностный сток с

² Воздушно-сухой называется целлюлоза с влажностью 10%.

³ Было установлено, что из химических веществ, перечисленных в Приложении С к Стокгольмской конвенции, в процессе производства целлюлозы с использованием элементарного хлора образуются лишь ПХДД и ПХДФ. Показано, что из 17 представителей семейства ПХДД/ПХДФ только два, с атомами хлора во 2-й, 3-й, 7-й и 8-й позициях, а именно 2,3,7,8-ПХДД и 2,3,7,8-ПХДФ потенциально способны образовываться при отбеливании целлюлозы, произведенной химическим способом, с использованием хлора. По большей части, 2,3,7,8-ПХДД и 2,3,7,8-ПХДФ образуются на С-стадии отбеливания в ходе реакции хлора с веществами-предшественниками ПХДД и ПХДФ (ЮНЕП, 2006).

территории складов лесоматериалов. Он может содержать вымываемые из древесины токсичные химические соединения (такие, как танины, фенолы, смолы и жирные кислоты), а также грунт и иные материалы, вымываемые из коры.

Управление обработкой сточных вод – общие вопросы
Информация о способах экономии воды, применимых на большинстве промышленных предприятий и могущих способствовать сокращению объемов образующихся сточных вод, содержится в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Ниже перечисляются характерные для данной отрасли стратегии предотвращения образования сточных вод, потенциально применимые к большинству технологий производства целлюлозы и бумаги. В число рекомендуемых методов предотвращения и ограничения образования сточных вод входят:

- Сухая окорка древесины;
- Установка систем сбора и повторного использования временных и случайных стоков, связанных с разливами технологической воды;
- Обеспечение достаточности и баланса объемов резервуаров для хранения целлюлозной массы, отходов и оборотной воды в целях предотвращения или ограничения сброса технологической воды;
- Возвращение в оборот сточной воды с одновременной рекуперацией волокнистой массы или без таковой (с помощью фильтров или флотационных установок);
- Разделение загрязненной и незагрязненной (чистой) сточной воды, сбор и повторное использование чистой воды для охлаждения и уплотняющей воды;
- К потенциально загрязненным сточным водам относится поверхностный сток с участков перегрузки и обработки брёвен и лесоматериалов, технологического оборудования, крыш зданий и участков,

непосредственно примыкающих к участкам, задействованным в технологическом процессе. Этот сток следует объединять с технологическими стоками и направлять на очистку.

Указания по управлению обработкой воды для охлаждения и дополнительные указания, касающиеся ливневого стока, содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Управление обработкой сточных вод – производство целлюлозы сульфатным и сульфитным методами

В число методов предотвращения и ограничения образования сточных вод, дополнительно рекомендуемых для предприятий по производству целлюлозы сульфатным и сульфитным методами, входят:

- Кислородная делигнификация перед отбеливанием;
- Качественная промывка целлюлозной массы перед отбеливанием (сульфатный и сульфитный методы производства);
- Уменьшение или прекращение образования 2,3,7,8-ПХДД и 2,3,7,8-ПХДФ во время отбеливания древесной и недревесной целлюлозы за счёт⁴:
 - Замены отбеливания с применением элементарного хлора методами отбеливания ECF (без элементарного хлора)⁵ или TCF (полностью без хлора);
 - Сокращения применения элементарного хлора за счет понижения кратного хлора или расширенной замены диоксида хлора молекулярным хлором;
 - Сведения к минимуму попадания в установку отбеливания прекурсоров, таких, как дибензо-п-диоксин и дибензофуран, за счет использования

⁴ ЮНЕП, 2006.

⁵ Для отбеливания по методу ECF необходимо приготовление на месте диоксида хлора (ClO₂). Необходимо выбрать такую технологию приготовления ClO₂, чтобы объём хлора, образующегося в виде побочного продукта при производстве ClO₂, был низким.

добавок, не содержащих таких прекурсоров, и тщательной промывки;

- Максимальной очистки массы от узелков;
- Прекращения производства целлюлозы из сырья, загрязненного полихлорированными фенолами;
- Удаление гексенурановых кислот путем мягкого гидролиза технической целлюлозы, получаемой из древесины лиственных пород, особенно эвкалипта;
- Сбор и переработка разлитой отработанной варочной жидкости;
- Отгонка и повторное использование конденсата, образующегося при испарении и в варочном котле, с целью уменьшения общего содержания соединений серы с низкой степенью окисления – источников неприятного запаха (сульфатный и сульфитный методы).
- Нейтрализация отработанной варочной жидкости до испарения и повторное использование конденсата для уменьшения содержания растворенных органических веществ (сульфитный метод);
- Рекуперация химических веществ в процессе производства целлюлозы как сульфатным, так и сульфитным методами.

Управление обработкой сточных вод – производство целлюлозы механическим и химико-механическим методами

В число методов предотвращения и ограничения образования сточных вод, дополнительно рекомендуемых для предприятий по производству целлюлозы механическим и химико-механическим методами, входят:

- Минимизация потерь в виде отходов;
- Максимальное возвращение в оборот воды в процессе производства целлюлозы механическим методом;

- Применение сгустителей для реального разделения систем водоснабжения предприятий целлюлозно-бумажной промышленности;
- Разделение систем водоснабжения целлюлозных и бумажных фабрик, а также использование системы противотока воды от бумажных фабрик к целлюлозным в целях сокращения совокупного потребления воды, TBB и содержания растворенных органических веществ.

Управление обработкой сточных вод – бумажные фабрики и целлюлозно-бумажные комбинаты

В число методов предотвращения и ограничения образования сточных вод, дополнительно рекомендуемых для бумажных фабрик и целлюлозно-бумажных комбинатов, входят:

- Повторное использование оборотной воды с рекуперацией волокон с помощью дисковых фильтров, барабанных фильтров либо микрофлотационных установок, и минимизация числа водозаборных устройств для подачи чистой воды в систему оборотного водоснабжения;
- Отдельная очистка стоков от процесса мелования, например, путем сверхтонкой фильтрации, – повторное использование химических веществ, применяемых в процессе мелования;
- Замещение потенциально вредных химических веществ, применяемых в технологическом процессе, менее вредными аналогами.

Очистка сточных вод

Применение той или иной технологии очистки сточных вод в месте их сброса будет зависеть от нескольких факторов, в том числе от состава стоков, измеримых критериев качества стоков и расположения точки сброса (например, сброс непосредственно в водоток или предварительная

очистка перед сбросом в коммунальные или иные водоочистные сооружения). Очистка сточных вод, образующихся на предприятиях по производству целлюлозы, как правило, должна состоять из первичной очистки, включающей нейтрализацию, процеживание, осаждение (а иногда – флотацию или гидроциклонное отделение) для удаления взвешенных веществ, биологической / вторичной очистки для уменьшения содержания органических веществ в сточных водах и уничтожения токсичных органических веществ, а также, реже, – третичной очистки с целью дальнейшего понижения токсичности, уменьшения содержания взвешенных веществ и органики, а также осветления стоков. В процессе очистки сточных вод образуется шлам, который необходимо удалять и удалять как отходы или побочные продукты.

Общие вопросы, касающиеся технологий очистки сточных вод, рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Для применения в целлюлозно-бумажной промышленности рекомендуются следующие широко применяемые в этой отрасли технологии:

- **Первичная механическая очистка:** Для удаления из сточных вод волокон и иных взвешенных веществ обычно используется механический отстойный или осадительный бассейн. Иногда для содействия удалению взвешенных веществ применяется химическая флокуляция;
- **Вторичная очистка:** На большинстве видов целлюлозно-бумажных предприятий, сбрасывающих достаточно высокие объемы органических загрязнителей, включая такие токсичные компоненты, как смоляные кислоты и хлорорганические соединения. Конкретные методы включают целый ряд различных видов и конфигураций биологической очистки. Наиболее часто применяемые системы представляют

собой сочетание i) активного ила; ii) аэрируемых прудов; iii) биологических фильтров различных типов, зачастую используемых в сочетании с другими методами; iv) анаэробной очистки, используемой как предварительный этап очистки, за которым следует этап аэробной биологической очистки; и v) комбинаций различных методов, когда необходимы сверхвысокая эффективность очистки;

- Кроме того, иногда требуется увеличить срок аэрации в целях уменьшения содержания токсичных соединений, таких, как смоляные и жирные кислоты;
- Некоторые виды стоков с высоким БПК/ХПК и низким содержанием токсичных веществ – такие, как конденсаты, образующиеся при производстве целлюлозы сульфитным методом, и стоки от ее производства механическим методом и переработки вторичного волокна, – предпочтительно подвергать предварительной аэробной биологической очистке и повторно использовать остаток очищенного конденсата в целях сокращения совокупного водопотребления и объема стоков.

Выбросы в атмосферу

К основным видам выбросов в атмосферу от предприятий целлюлозно-бумажной промышленности относятся технологические газы, состав которых различается в зависимости от процесса производства целлюлозы и может включать соединения серы (с чем связана проблема неприятного запаха), твердые частицы, оксиды азота, летучие органические соединения, хлор, диоксид углерода и метан. В число иных типичных источников выбросов входят топочные газы, выбрасываемые установками сжигания отходов и вспомогательными паровыми и энергетическими установками, и содержащие твердые частицы, соединения серы и оксиды азота.

Технологические газы – производство целлюлозы сульфатным и сульфитным методами

Зловонные газы (производство крафт-целлюлозы) - При производстве крафт-целлюлозы обычно образуются крайне зловонные восстановленные соединения серы, выражаемые в общем содержании восстановленных соединений серы; к ним относятся сероводород, метилмеркаптан, диметилсульфид и диметилдисульфид. Источником дурнопахнущих газов иногда могут быть и водоочистные установки, но обычно в меньшей степени, чем технологический процесс. Рекомендуется, в частности, применять следующие стратегии нейтрализации выбросов:

- На предприятиях по производству белёной и небелёной крафт-целлюлозы следует осуществлять сбор отводимых зловонных газов и конденсатов на всех этапах технологического процесса, предусматривающих работу с чёрным щёлоком, непромытой, частично и полностью промытой небелёной целлюлозой, и их сжигание для полного окисления соединений серы с низкой степенью окисления;
- Если концентрация газов высока (в таких случаях их источниками обычно бывают конденсат или газоотвод варочного котла), следует предусмотреть наличие резервной системы сжигания, готовой при необходимости принять на себя функции основной системы, что позволит свести к минимуму выбросы газов с восстановленными соединениями серы в атмосферу без их дожигания;
- На экологически уязвимых территориях (например, вблизи населённых пунктов) следует рассмотреть возможность создания резервной установки сжигания или иного альтернативного устройства для сжигания газов низкой концентрации с восстановленными

соединениями серы. Предпочтительным устройством для сжигания является регенерационный котёл;

- По мере возможности, точкой выпуска газов в атмосферу на случай их аварийного стравливания должна быть высокая горячая труба, например, труба регенерационного котла или энергетической установки.
- Рассмотреть возможность ограничения и улавливания выбросов газов из водоочистной установки для последующего сжигания в маловероятном случае возникновения серьезных проблем.

Сжигание газов с восстановленными соединениями серы может осуществляться в технологическом оборудовании, предпочтительно в регенерационном котле, где может быть рекуперирована сера, но также и в энергетическом котле. К альтернативным решениям по сжиганию газов высокой концентрации относятся известеобжигательная печь (хотя необходимо учесть, что в этом случае образуется сульфат кальция) или отдельная внешняя печь дожига газов.

Регенерационные котлы (сульфатный и сульфитный методы производства) – Для выбросов из регенерационных котлов обычно характерно наличие твердых частиц и диоксида серы. К другим основным компонентам относятся оксиды азота, а иногда – сероводород на предприятиях по производству крафт-целлюлозы. На предприятиях, работающих по сульфитному методу, важнейшей задачей считается рекуперация диоксида серы. К стратегиям первичной нейтрализации выбросов относятся:

- Окисление черного щелока до его упаривания смешиванием⁶;
- Сокращение выбросов серы за счет повышения концентрации черного щелока в выпарных установках

⁶ Применяется только к существующим объектам, так как на новых объектах установки для упаривания смешиванием применять не следует.

(сульфатный метод) до 75% сухого вещества и выше до сжигания в регенерационном котле;

- Сокращение выбросов серы за счет управления параметрами процесса горения в регенерационном котле, в том числе температурой, подачей воздуха, распределением щёлоча в печи и загрузкой печи (сульфатный метод);
- Сокращение выбросов оксидов азота (NO_x) за счет управления параметрами процесса горения, например, избытком воздуха;
- Сбор выбросов SO_2 посредством абсорбции щелочным раствором для получения новой варочной жидкости (сульфитный метод)

Трубы следует проектировать в соответствии с надлежащей международной отраслевой практикой (НМОП), как предусмотрено **Общим руководством по ОСЗТ**⁷.

Известеобжигательные печи (сульфатный метод) – В процессе обжига имеют место выбросы NO_x , SO_2 и твердых частиц. Кроме того, вследствие ненадлежащего удаления сульфида натрия (Na_2S) из каустизационного шлама возможны выбросы газов с восстановленными соединениями серы. К рекомендуемым стратегиям первичной нейтрализации выбросов, в частности, относятся:

- Выбросы SO_2 следует сокращать за счет использования топлива с низким содержанием серы и борьбой с излишним притоком кислорода;
- Выбросы NO_x следует сокращать за счет управления параметрами процесса горения;

- Выбросы сероводорода следует сокращать, обеспечивая надлежащее функционирование печей и контроля за содержанием остаточного сульфида натрия в каустизационном шламе. Этого можно достичь за счет надлежащей промывки и фильтрации каустизационного шлама для удаления сульфида натрия и снижения содержания влаги (примерно до 20-30 процентов), что позволяет осуществить окисление сульфида натрия кислородом воздуха на фильтре до подачи высушенного каустизационного шлама в печь.

К рекомендуемым стратегиям вторичной нейтрализации выбросов, применимым к вышеперечисленным источникам выбросов, в частности, относятся:

- Применение вторичных средств ограничения выбросов твердых частиц, таких, как электростатические фильтры в регенерационных котлах, вспомогательных котлах и известеобжигательных печах;
- Применение вторичных средств ограничения выбросов SO_2 , таких, как щелочные мокрые скрубберы для удаления кислых газов и побочных продуктов сжигания газов с восстановленными соединениями серы.

Летучие органические соединения (все методы производства целлюлозы)⁸ – Выбросы в атмосферу летучих органических соединений (ЛОС) имеют место из ненадлежащим образом сконструированных котлов энергетических установок, отапливаемых корой и иными древесными продуктами.

На предприятиях, производящих целлюлозу механическими методами, к числу основных источников выбросов ЛОС относятся отвод воздуха от промывки древесной щепы и от спринклерной конденсационной установки, в которой

⁷ Применительно к целлюлозным предприятиям речь может идти о высокой одиночной трубе, обычно возвышающейся над окружающей местностью не менее чем на 100 метров, либо на высоту, установленную по результатам моделирования рассеяния примесей в атмосфере.

⁸ В этом разделе рассматриваются иные ЛОС, нежели рассмотренные выше зловонные соединения.

происходит конденсация загрязненного летучими компонентами древесины пара, выделяющегося в процессе производства целлюлозы механическим методом. Концентрация ЛОС зависит от содержания смолы в древесине и конкретных методов дефибрирования. К выделяемым веществам относятся уксусная кислота, муравьиная кислота, этанол, пинены и терпены. К числу рекомендуемых мер по минимизации выбросов ЛОС относятся:

- Обеспечение рекуперации ЛОС, выделяющихся в процессе производства целлюлозы механическим методом из древесины с высоким содержанием экстрактивных веществ (смолы), в установках регенерации тепла и пусковом скруббере (для пара, применяемого в процессе ТМО), сбора и дальнейшей очистки летучих соединений. Дожигание отходящих газов, содержащих ЛОС, можно проводить в существующих котлах или особой печи. Из загрязнённого конденсата, содержащего, главным образом, терпены, эти вещества можно рекуперировать;
- Эксплуатация котлов для сжигания коры с избытком кислорода, достаточным для предотвращения выбросов ЛОС (и СО) и, в то же время, минимизации образования NO_x. Для котлов, используемых для сжигания твердых отходов, предпочтительной технологией является сжигание в псевдоожиженном слое.

Источники горения

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности потребляют большие объёмы электроэнергии и пара, а иногда применяют для производства тепловой энергии вспомогательные котлы (котлы, отапливаемые корой, и вспомогательные паровые котлы). Выбросы, связанные с

эксплуатацией этих пароэнергетических установок, обычно состоят из побочных продуктов сгорания, таких, как NO_x, SO_x, ТЧ, летучие органические соединения (ЛОС) и парниковые газы. К числу рекомендуемых стратегий управления этими выбросами относится комплексная стратегия сокращения энергопотребления, использования более экологически чистых видов топлива и применения, в необходимых случаях, средств ограничения выбросов. На неинтегрированных целлюлозных предприятиях с оптимальными энергозатратами объёмы тепла, получаемые при сжигании чёрного щёлока и коры, должны превышать потребности всего производственного процесса в энергии.

Рекомендации по энергосбережению содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**. В число особых рекомендаций для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности входят^{9, 10}:

- Сокращение потерь тепла и его потребления за счет повышения содержания твёрдых веществ в коре, повышения к.п.д. паровых котлов (например, использование теплообменников), повышения эффективности вторичной системы отопления (например, использования горячей воды с температурой около 85°C), расширения использования вторичного тепла для отопления зданий, а также увеличения высокой концентрации целлюлозной массы и поддержания надежной изоляции системы водоснабжения и достаточно надежной изоляции установки отбеливания;
- Сокращение потребления электроэнергии за счет поддержания как можно более высокой консистенции целлюлозной массы на этапах процеживания и

⁹ EU BREF (2001).

¹⁰ Дополнительные указания по оптимизации энергозатрат см. также у Williamson (1994).

очистки, контроля за скоростью мощных электродвигателей, использования эффективных вакуумных насосов и подбор труб, насосов и вентиляторов надлежащего размера;

- Максимизация генерации электроэнергии за счет поддержания высокого давления в котлах, поддержания на минимальном технически допустимом уровне давления пара на выходе турбины с противодавлением, использования конденсационной турбины для производства электроэнергии из излишков пара и поддержания высокого к.п.д. турбины, а также предварительного подогрева воздуха и топлива, подаваемых в котлы.

Указания по нейтрализации выбросов из малых источников горения номинальной тепловой мощностью не выше 50 МВт тепл., включая значения нормативов выбросов, приводятся в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Указания, касающиеся выбросов из источников горения мощностью свыше 50 МВт тепл., приводятся в **Руководстве по ОСЗТ для тепловых электростанций**.

Остатки и отходы

На предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности обычно образуются существенные объёмы безопасных твёрдых отходов, но очень мало опасных отходов. К специфичным для данной отрасли отходам относятся кора от окорки лесоматериалов, остатки сердцевины тростника от переработки багассы в целлюлозу, неорганический шлам (например, осадок зелёного щёлока, каустизационный шлам) от рекуперации химических веществ, мусор (например, пластмасса), отсортированный от бумаги или картона на заводах по переработке макулатуры, а также осадок – волоконный (например, из первичного отстойника) и биологический – от очистки воды. Небольшое количество опасных отходов образуется на всех целлюлозных

предприятиях и состоит из остатков нефтесмазочных материалов, отходов электрооборудования и остатков химических веществ; объёмы этих отходов обычно составляют примерно 0,5-1 кг на тонну продукции.

Твёрдые отходы следует относить к опасным или безопасным в соответствии с критериями, предусмотренными местной нормативной базой. Опасные и безопасные отходы следует тщательно отделять друг от друга, чтобы уменьшить объём отходов, которые могут быть загрязнены опасными материалами и, соответственно, отнесены к опасным. Указания по обращению с опасными и безопасными промышленными отходами и их безопасному удалению содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Дополнительные указания, непосредственно относящиеся к предприятиям целлюлозно-бумажной промышленности, включают следующее:

- Объёмы твёрдых отходов следует, по мере технико-экономической возможности, сокращать за счёт повторного использования и переработки материалов на месте, примерами чего служат, в частности:
 - Переработка волоконного шлама;
 - Направление узелков и отходов сортировки на повторную варку;
 - Повышение качества обезвоживания шлама для облегчения его сжигания (зачастую во вспомогательных котлах с использованием дополнительного топлива);
 - Сокращение объёмов образующихся органических отходов, таких, как кора, за счет окорки в лесу (с оставлением коры на месте в качестве улучшителя почвы);

- Сжигание органических отходов, таких, как кора¹¹, в паровых котлах, в целях уменьшения совокупного потребления топлива.
- Кроме того, в целях удаления и обезвреживания отходов рекомендуется, в частности, следующее:
 - Отходы окорки¹² следует сводить к минимуму за счет обработки чистой древесины с последующим отделением чистых органических фракций, которые могут использоваться как топливо для генерации пара, а оставшиеся фракции следует отправлять на полигон;
 - Зола от сжигания коры, древесины и иных материалов может быть возвращена в оборот в виде наполнителя в строительных работах и дорожном строительстве, или улучшителя почв, либо, в противном случае, захоронена;
 - Каустизационный шлам (сульфатный метод) обычно повторно используется в системе рекуперации предприятия, однако избыток этого материала может быть использован на коммерческих условиях для известкования кислых почв, либо, в противном случае, захоронен;
 - Осадок зелёного щёлока (сульфатный метод) может использоваться как промежуточная грунтовая засыпка на полигонах твёрдых отходов после усиленного обезвоживания либо, реже, в качестве удобрения для лесных почв (исходя из анализа содержания биогенных веществ в шламе и потенциального воздействия в случае внесения его в почву). Он также может использоваться для нейтрализации кислых сточных вод;
 - Осадок, образующийся при удалении типографской краски (на предприятиях по производству целлюлозы из вторичного волокна), можно использовать как наполнитель для других сортов бумаги, компостировать вместе с другими органическими материалами для изготовления обогащающих почву продуктов, либо, в противном случае, захоранивать;
 - Сердцевину тростника (изготовление целлюлозы из багассы) можно компостировать вместе с другими органическими материалами для изготовления обогащающих почву продуктов, либо, в противном случае, сжигать;
 - Волоконный осадок можно возвращать в оборот непосредственно на предприятии, продавать другим предприятиям или направлять в другие места для использования в других продуктах. Его также можно сжигать или использовать в качестве промежуточной грунтовой засыпки на полигонах;
 - Биологический осадок можно сжигать в котле для сжигания коры вместе с волоконным осадком, либо обезвоживать испарением и сжигать в рекуперационной системе целлюлозных предприятий, применяющих сульфатный метод. Его также можно компостировать вместе с другими органическими материалами для изготовления обогащающих почву продуктов;
 - Осадок от третичной очистки можно смешивать с другими видами осадка и сжигать эту смесь в котле для сжигания коры, либо компостировать вместе с другими органическими материалами для изготовления обогащающих почву продуктов¹³.

¹¹ «Корой» называется основная часть коры, снимаемой с брёвен, относительно чистая и пригодная для использования в качестве топлива в твердотопливном котле.

¹² «Отходами окорки» называется меньшая часть коры, загрязнённая грунтом и гравием, которая может быть непригодна для использования в качестве топлива.

¹³ Применимость методов утилизации осадка зависит от его фактического качества и вида. Например, сжигание в регенерационном котле обычно применимо только к биологическому осадку на предприятиях, применяющих сульфатный метод. Сжигание в котле для коры или

Шум

Для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности по определению характерен высокий уровень шума в силу наличия большого количества машин и механизмов, транспортных средств, двигательной активности и высокого энергопотребления, в частности, работы вакуумных насосов, жидкостных насосов и парогенераторов. Указания по снижению уровня шума приводятся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

1.2 Охрана труда и техника безопасности

Вопросы охраны труда и техники безопасности должны рассматриваться в рамках комплексной оценки опасностей или рисков, включая, например, исследование с целью выявления опасных факторов [HAZID], исследование опасных факторов и работоспособности [HAZOP] или другие исследования по оценке рисков. Эти результаты следует использовать для планирования мероприятий в области охраны труда и техники безопасности, при проектировании сооружений и разработке системы безопасного труда, а также для подготовки и распространения практики безопасного производства работ.

Меры общего характера в области проектирования и эксплуатации объектов, а также мониторинга, обеспечивающие управление основными рисками в области охраны труда и техники безопасности, описаны в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Там же приводятся общие указания, касающиеся строительства и вывода из эксплуатации, равно как и указания по обучению методам техники

отдельном котле технически и экономически оправдано только при сравнительно высоком содержании в осадке органики и высоком содержании твердых веществ. Компостирование технически и экономически оправдано только при высоком содержании в осадке органики. Осадок из водоочистных сооружений необходимо исследовать в каждом отдельном случае, чтобы определить, относится ли он к безопасным отходам, либо к опасным, а также проанализировать потенциальное воздействие в случае его внесения в почву.

безопасности и производственной санитарии, средствам индивидуальной защиты и контролю факторов физической, химической, биологической и радиологической опасности, общих для всех отраслей промышленности.

Проблемы охраны труда и техники безопасности, которые необходимо дополнительно учитывать при эксплуатации предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, включают следующее:

- Факторы химической опасности
- Факторы физической опасности
- Древесная пыль
- Биологические агенты
- Высокая температура
- Замкнутое пространство
- Шум
- Радиация

Факторы химической опасности

На предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности применяются и производятся многочисленные химические вещества, способные оказать негативное воздействие на здоровье и безопасность труда работников. К ним относятся:

Газы, такие, как соединения серы с низкой степенью окисления (сульфатный метод получения целлюлозы), окисленные соединения серы, главным образом, диоксид серы (сульфатный и сульфитный методы), хлор, диоксид хлора, терпены и иные летучие органические соединения, а также кислород;

Жидкости, в том числе едкий натр и прочие щелочи, кислоты (например, серная), побочные продукты варки целлюлозы, например, скипидар, гипохлорит натрия, водный раствор диоксида хлора, перекись водорода,

биоциды, присадки, применяемые при производстве бумаги, растворители, типографские и иные краски; а также

Твёрдые вещества, в том числе хлорат натрия, сульфат натрия, известь, карбонат кальция, зола и асбест (используемый для изоляции).

В целях предотвращения, минимизации и преодоления потенциального воздействия химических веществ на здоровье и безопасность труда работников рекомендуется принимать следующие меры:

- По мере возможности, автоматизировать операции по варке и отбелке целлюлозы, чтобы операторы могли осуществлять мониторинг и управление этими процессами из операторских, закрытых от возможного воздействия химических веществ и иных вредных и опасных производственных факторов. Эффективное управление технологическим процессом также позволяет свести к минимуму использование отбеливателей и иных химических веществ;
- Внедрять технические меры контроля, такие, как автоматические крышечные вентили варочных котлов, системы местной вытяжной вентиляции на варочных котлах периодического действия и выдувных резервуарах, способные обеспечить вентиляцию с частотой выпуска газов из резервуара, давление ниже атмосферного в регенерационных котлах и сульфитно-ангидридных кислотных башнях для предотвращения утечки газа, полностью или частично закрытые вентилируемые камеры для послеварочных ёмкостей, закрытые или вентилируемые транспортёры, подъёмники и накопительные бункеры для загрузки извести, защитное ограждение в виде навеса со специальной вытяжной вентиляцией для каждой

отбеливающей башни и промывочной установки, а также ограждение листовых сушилок¹⁴;

- Устанавливать постоянные индикаторы газа с сигнализацией в местах возможной утечки или образования опасных газов, например, на участках регенерации химических веществ, хранения хлора, выработки диоксида хлора и отбеливания, а также обеспечение всех находящихся на этих участках работников, персонала подрядчиков и посетителей респираторами на случай аварийного покидания участка;
- Создать и постоянно обновлять базу данных обо всех используемых и производимых на предприятии химических веществах, включая сведения об опасных факторах, токсикологии, биологических свойствах и т.п.;
- Выявлять и предупреждать возможные химические реакции, способные привести к образованию опасных газов и иных веществ (например, в результате реакции отработанной варочной жидкости с кислотами в системе сбора и отведения сточных вод может образоваться сероводород). Все используемые и производимые на предприятии химические вещества следует анализировать на способность вступать в реакцию с другими видами химических веществ, применяемых на предприятии;
- Помечать, маркировать, упаковывать и хранить все химические вещества и опасные материалы в соответствии с национальными и признанными на международном уровне требованиями и стандартами;
- Принять меры к тому, чтобы персонал подрядчиков, включая нанятый на период временного прекращения эксплуатации с целью проведения профилактического

¹⁴ Международная организация труда. Энциклопедия по охране и безопасности труда. 4-е издание. Глава 72. Целлюлозно-бумажная промышленность. Опасные факторы производства и их контроль.

- ремонта, был обучен приёмам безопасного ведения работ на объекте, включая правила пользования средствами индивидуальной защиты и обращения с химическими веществами, и соблюдал эти правила;
- Обучить работников приёмам обращения с диоксидом хлора и хлоратом натрия. Просыпанный хлорат натрия необходимо залить водой, а загрязнённую одежду сохранять замоченной до стирки;
 - Избегать использования элементарного хлора для отбелики;
 - Применять типографские и иные краски на водной основе, а не содержащие растворитель;
 - Не допускать накопления серной пыли в баках для хранения серы;
 - Внедрить программу осмотра и технического обслуживания оборудования в целях предупреждения и выявления утечек, отказов оборудования и т.п.

Факторы физической опасности

Наиболее серьёзные травмы в этой отрасли обычно объясняются сбоями процедур блокировки и отключения оборудования. Следует разработать и регулярно применять отказоустойчивые процедуры блокировки и отключения оборудования, как описано в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Общие факторы физической опасности

В целях предотвращения, минимизации и преодоления воздействия общих факторов физической опасности (например, опасности поскользываний, падений и обращения с материалами) рекомендуется принимать следующие меры:

- Установить страховочные платформы под транспортёрами, пересекающими пешеходные проходы и дорожное полотно;

- Оперативно устранять разливы;
- Использовать в пешеходных зонах нескользкие покрытия, обеспечивающие сток;
- Оснастить перилами пешеходные проходы, расположенные вблизи технологических линий, и мостки, а также оборудовать четкими указателями полосы движения для транспорта и пешеходов;
- Оснастить передвижное оборудование средствами защиты от опрокидывания;
- Разработать правила, исключающие перемещение тяжёлых грузов кранами над местами нахождения персонала.

Безопасность машин и оборудования

На целлюлозных предприятиях применяется оборудование для обработки древесины и иное оборудование, такое, как окорочные и рубильные машины, способное стать причиной тяжёлых травм у работников.

В целях предупреждения, минимизации и ограничения травматизма при работе с режущим и окорочным оборудованием¹⁵ рекомендуется, в частности:

- Оборудование с движущимися частями (например, зону контакта между цепью и цепным колесом транспортера; барабаны, приводные ремни, блоки и валы транспортеров; вальцы бумагоделательных машин; задающие валки измельчителей и т.п.) следует снабдить защитным ограждением или блокировочными устройствами, способными предотвратить доступ к движущимся частям;

¹⁵ Конкретные способы минимизации травматизма при работе с режущим и окорочным оборудованием описаны в документе Управления США по охране труда и промышленной гигиене (US OSHA 2003), доступном по адресу: http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/sawmills/log_breakdown.html

- Перед техническим обслуживанием, очисткой или ремонтом оборудования его необходимо отключать и блокировать¹⁶;
- Работников следует обучить конкретным приёмам безопасного использования режущего, окорочного и иного оборудования;
- Рабочие места следует располагать таким образом, чтобы свести к минимуму опасность травмирования людей обломками в случае поломки оборудования;
- Во избежание отказов оборудования следует регулярно проводить его осмотр и техническое обслуживание;
- Всем операторам режущего оборудования следует пользоваться средствами защиты органов зрения, а также, по мере необходимости, иными СИЗ.

Разгрузка и транспортировка брёвен

Обычно брёвна с помощью соответствующих механизмов выгружают из железнодорожных вагонов или тяжелых грузовиков и складировать в штабели, а затем переваливают на транспортёры и площадки для переработки в целлюлозу. На складах лесоматериалов часты случаи травматизма, связанные с движением транспортных средств, а также со скатыванием или падением брёвен с погрузчиков или штабелей.

В целях предупреждения, минимизации травматизма на складах лесоматериалов и борьбы с ним рекомендуется, в частности, следующее¹⁷:

- Разработать и соблюдать безопасный порядок разгрузки круглого леса, пиломатериалов и щепы¹⁸;
- Следует рассмотреть возможность полностью механизировать работы на складах лесоматериалов в целях сокращения контакта работников с брёвнами при их погрузке, разгрузке и укладке в штабели;
- Следует ясно обозначать маршруты движения транспортных средств по территории складов лесоматериалов и держать перемещение транспортных средств под строгим контролем;
- Высота штабелей не должна превышать безопасного уровня, установленного на основании оценки риска с учетом специфики данного объекта, включая способ укладки штабелей¹⁹;
- На территорию складов лесоматериалов не следует допускать посторонних;
- Площадки для разгрузки брёвен следует оборудовать барьерами, цепями или иным защитным ограждением для предотвращения скатывания брёвен с площадки;
- Работники должны пройти инструктаж по правилам безопасного ведения работ на участках разгрузки брёвен и их укладки в штабели, включая меры безопасности при падении брёвен и планирование маршрутов эвакуации;
- Рабочих следует обеспечить защитной обувью с металлическим подноском, шлемами и хорошо заметными куртками;
- Все движущиеся машины следует оборудовать звуковой сигнализацией, приводимой в действие при движении задним ходом.

¹⁶ См., например, разработанные Управлением США по охране труда и промышленной гигиене правила для целлюлозных, бумажных и картонных предприятий, Раздел 29 Свода федеральных нормативных актов, Часть 1910.261(a), и соответствующие кодексы Американского национального института стандартов, такие, как O1.1-2004: Woodworking Machinery Safety Requirements (Требования к безопасности деревообрабатывающих станков).

¹⁷ Конкретные методики приёма, разгрузки и транспортировки круглого леса описаны в документах Управления США по охране труда и промышленной гигиене (2003), доступных по адресу: <http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/sawmills/receive.html> и <http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/sawmills/convey.html>

¹⁸ См., например, разработанные Управлением США по охране труда и промышленной гигиене правила погрузки и разгрузки брёвен, Раздел 29 Свода федеральных нормативных актов, Часть 1910.266(h)(6), и административное правило штата Орегон (OAR) 437-02-312.

¹⁹ При ручной укладке высота штабеля обычно может быть ограничена 2 метрами, тогда как при механической укладке возможна безопасная работа со штабелями большей высоты.

Древесная пыль

Предметом озабоченности может быть воздействие древесной пыли на участках целлюлозных предприятий, где осуществляется обработка древесины (например, полуавтоматическими рубильными машинами), а также на начальных этапах процесса изготовления целлюлозы. Воздействие волоконной пыли может иметь место на бумажных фабриках. Кроме того, пыль, состоящая из бумажных волокон, пожароопасна.

В целях предотвращения, минимизации воздействия пыли и борьбы с ним рекомендуется принимать следующие меры:

- Оборудовать защитными кожухами и вентиляцией лесопильные агрегаты, измельчители, обеспыливатели и конвейеры для транспортировки древесной щепы;
- Рассмотреть возможность хранения щепы в закрытых помещениях;
- Избегать использования сжатого воздуха для удаления древесной пыли и бумажных отходов;
- Закрыть и оборудовать вентиляцией участки, где производятся разгрузка, взвешивание и смешивание сухих мелкодисперсных присадок, либо использовать жидкие присадки;
- Регулярно проводить осмотр и очистку запылённых участков для сведения к минимуму риска взрыва пыли.

Биологические агенты

К биологическим агентам относятся микроорганизмы, такие, как бактерии, грибки и вирусы; некоторые из них могут быть патогенными. Микроорганизмы особенно активно распространяются в замкнутых системах бумагоделательных машин, установках биологической очистки сточных вод и градирнях.

В целях предотвращения, минимизации воздействия биологических агентов и борьбы с ним рекомендуется принимать следующие меры:

- Конструировать установки биологической очистки сточных вод таким образом, чтобы свести к минимуму возможность размножения патогенных организмов;
- В целях минимизации размножения микроорганизмов применять биоциды в воде для охлаждения и в процессах производства целлюлозы и бумаги.

Высокая температура

Многие технологические операции в процессе производства целлюлозы, в том числе варка целлюлозы, рекуперация химических веществ, применяемых для её производства, обжиг извести и сушка бумаги, проходят при высокой температуре и, в некоторых случаях, при высоком давлении. Меры по защите от воздействия высоких температур, общие для большинства крупных промышленных предприятий, рассматриваются в Общем руководстве по ОСЗТ. Кроме того, в целях предотвращения, минимизации воздействия высокой температуры и борьбы с ним в целлюлозно-бумажной промышленности рекомендуется принимать следующие дополнительные меры:

- Оборудовать операторские с кондиционированием воздуха, в том числе на участках подготовки древесины, варки целлюлозы, отбеливания и изготовления бумаги;
- Установить на участках с высокой температурой график работ, предусматривающий акклиматизацию и перерывы на отдых;
- Автоматизировать удаление плава из регенерационного котла. Обеспечить защитной одеждой для работы в тяжёлых условиях работников,

могущих оказаться под воздействием расплавленного плава или иных высокотемпературных материалов;

- Принять меры безопасности для минимизации возможности взрыва смеси плава с водой. Следует регулировать скорость перекачки плава и обеспечивать техническое обслуживание регенерационных котлов для предотвращения протечек воды со стенок котельной трубы. При первых признаках протечки регенерационный котёл необходимо заглушить;
- Рассмотреть возможность использования подвижных агрегатов, оборудованных закрытыми кабинами с кондиционированием воздуха.

Замкнутое пространство

В процессе эксплуатации и, особенно, технического обслуживания предприятий отрасли может возникнуть необходимость работы в замкнутом пространстве. Примерами могут служить паровые котлы, сушилки, установки для обезжиривания, варочные котлы, счежи, коллекторы трубопроводов, технологические камеры и реакторы, резервуары и баки. Воздействие работы в замкнутом пространстве и меры его смягчения рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Шум

Два основных источника шума – это окорочные станки на целлюлозных предприятиях и бумагоделательные машины на бумажных фабриках, однако источниками шума могут быть и иные производственные процессы. Эффективной технической мерой является рассмотренное выше применение операторских. Дополнительные рекомендации по нейтрализации производственного шума приводятся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Радиация

Некоторые виды измерительного оборудования, особенно на бумажных фабриках, содержат радиоактивные материалы. Эти приборы обычно герметично закрыты, но повреждение или техническое обслуживание устройств, содержащих радиоактивные материалы, может привести к воздействию радиации на работников. Эти устройства следует проектировать и эксплуатировать в соответствии с действующими национальными требованиями и принятыми на международном уровне стандартами профессионального²⁰ и/или естественного²¹ воздействия ионизирующего излучения, такими, как «Основные международные стандарты по защите от ионизирующего излучения и по безопасности радиоактивных источников»²² и разработанные на их основе три взаимосвязанных Руководства по безопасности. Дополнительные рекомендации по нейтрализации воздействия радиации приводятся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

1.3 Охрана здоровья и обеспечение безопасности местного населения

Последствия для здоровья и безопасности местного населения в период строительства и вывода из эксплуатации предприятий целлюлозно-бумажной промышленности аналогичны характерным для большинства других крупных промышленных объектов и рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Последствия для здоровья и безопасности местного населения в связи с предприятиями целлюлозно-бумажной

²⁰ Организации, перерабатывающие или применяющие радиоактивные вещества в медицинских, промышленных, образовательных, учебных, научных и т.п. целях.

²¹ Шахты (кроме мест добычи радиоактивной руды), курорты, районы выделения радона, и т.п.

²² Серия «Издания МАГАТЭ по безопасности» (IAEA Safety Series), № 115.

промышленности возникают, главным образом, на стадии их эксплуатации и включают:

- Хранение, использование и транспортировка химических веществ
- Неприятные запахи
- Дорожное движение

Хранение, использование и транспортировка химических веществ

В результате крупных аварий на участках варки или отбеливания целлюлозы, либо во время перевалки или транспортировки продукции за пределами перерабатывающего предприятия, возможны выбросы химических веществ, пожары и взрывы. Указания по решению этих проблем приведены ниже и в соответствующих разделах **Общего руководства по ОСЗТ**, в частности, «Безопасность дорожного движения», «Транспортировка опасных материалов» и «Готовность к чрезвычайным ситуациям и аварийное реагирование».

Неприятные запахи

В процессе производства целлюлозы химическими методами, особенно сульфатным методом, образуются дурнопахнущие соединения серы с низкой степенью окисления, могущие создавать неудобства населению, проживающему вблизи предприятия. Современные средства борьбы с загрязнением воздушной среды, рассмотренные в разделе 1.1, предотвращают распространение запахов, ранее сопровождавших производство целлюлозы, однако в нештатной ситуации по-прежнему возможны выбросы. Поэтому при реализации проектов «с нуля» следует учитывать местоположение проектируемого предприятия и его удалённость от жилых или иных общественных зон.

Дорожное движение

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности потребляют большие объёмы древесины в виде круглого леса или щепы, а также отправляют большие объёмы готовой продукции, причём эти материалы часто перевозятся автотранспортом. Это может привести к существенному росту интенсивности дорожного движения в окрестностях предприятия. Меры безопасности дорожного движения рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

2.0 Показатели эффективности и мониторинг

2.1 Охрана окружающей среды

Нормативы выбросов и сбросов

Значения нормативов сбросов для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности приводятся в Таблицах 1(а) – 1(л), а выбросов – в Таблице 2. Эти нормативы представляются достижимыми при нормальных условиях эксплуатации на надлежащим образом спроектированных и эксплуатируемых объектах с применением методов предупреждения и ограничения загрязнения окружающей среды, рассмотренных в предшествующих разделах настоящего документа.

Нормативы сбросов представляют собой среднегодовые показатели²³ и применяются к очищенным стокам, сбрасываемым непосредственно в поверхностные водотоки для общего водопользования. В зависимости от наличия и условий использования коммунальных систем канализации и очистки сточных вод, а в случае сброса непосредственно в поверхностные водные объекты – в зависимости от вида водопользования водоприемника в соответствии с классификацией, приводимой в Общем руководстве по ОСЗТ, для конкретных объектов могут вводиться особые нормативы по сбрасываемым стокам. Указанные уровни должны обеспечиваться без разбавления и соблюдаться в течение не менее 95% времени работы предприятия или установки, рассчитываемого как доля рабочих часов в год. Отклонения от данных уровней с учетом конкретных

местных условий проекта необходимо обосновать при проведении экологической оценки.²⁴

Нормативы выбросов распространяются на выбросы при технологических процессах. Нормативы выбросов из источников сгорания, связанных с производством пара и электроэнергии установками мощностью не выше 50 МВт тепл., приводятся в **Общем руководстве по ОСЗТ**, а выбросов из более мощных установок – в **Руководстве по ОСЗТ для тепловых электростанций**. Указания по вопросам охраны окружающей среды с учетом совокупного объема выброшенных в окружающую среду загрязнителей содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Использование ресурсов

В таблице 3 приведены примеры показателей потребления энергии и воды в целлюлозно-бумажной промышленности, которые могут служить показателями эффективности работы отрасли и использоваться для отслеживания изменения качества ее работы со временем. Фактическое энергопотребление зависит от применяемой технологии, оборудования и эффективности управления технологическим процессом.

Мониторинг состояния окружающей среды

Программы мониторинга состояния окружающей среды для данной отрасли следует выстраивать с учетом необходимости охвата всех видов деятельности, у которых выявлен потенциал существенного воздействия на

²³ Среднедневные значения не должны превышать среднегодовые показатели более чем в 2,5 раза.

²⁴ Нормативы по стокам основаны на производственной нагрузке (например, выбросы в килограммах на тонну произведенной целлюлозы или бумаги). Для самостоятельных (неинтегрированных) целлюлозных и бумажных предприятий конкретные данные (например, в килограммах на тонну воздушно-сухой целлюлозы или на тонну бумаги) носят однозначный характер. Для целлюлозно-бумажных комбинатов показатель выбросов обычно приводится в килограммах на тонну бумаги, что должно включать выбросы как целлюлозного, так и бумажного производства. Если же целлюлозно-бумажный комбинат реализует и целлюлозу, и бумагу, наиболее уместным показателем будет «килограмм на тонну общей целлюлозы», где показатель «общей целлюлозы» приблизительно соответствует совокупности произведенной бумаги и реализованной целлюлозы.

состояние окружающей среды как в нормальном, так и в нештатном режиме. Мониторинг состояния окружающей среды следует вести по прямым или косвенным показателям выбросов, стоков и использования ресурсов, применимым к данному проекту.

Частота проведения мониторинга должна быть достаточной для получения репрезентативных данных по параметру, мониторинг которого проводится. Мониторинг должен осуществляться специально подготовленными лицами, в соответствии с процедурами мониторинга и учета данных, и с использованием должным образом калиброванного и исправного оборудования. Данные мониторинга следует регулярно анализировать и изучать, сопоставляя их с действующими стандартами в целях принятия, при необходимости, мер по исправлению ситуации. Дополнительные указания по применимым методикам отбора проб и анализа выбросов и стоков содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

2.2 Охрана труда и техника безопасности

Указания по охране труда и технике безопасности

Соблюдение норм охраны труда и техники безопасности следует оценивать на основании опубликованных международных рекомендаций по показателям воздействия вредных производственных факторов, примерами которых являются, в частности, указания по значениям пороговых пределов (TLV®) воздействия на рабочем месте и показателям биологического воздействия (BEIS®), публикуемые Американской конференцией государственных специалистов по гигиене труда (ACGIH)²⁵, Карманный справочник по источникам химической опасности,

публикуемый Национальным исследовательским институтом техники безопасности и охраны труда (NIOSH) Соединенных Штатов Америки²⁶, показатели допустимых уровней воздействия (ДУВ), публикуемые Управлением охраны труда (OSHA) Соединенных Штатов Америки²⁷, индикативные показатели предельно допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны, публикуемые странами – членами Европейского союза²⁸, или данные из иных аналогичных источников.

Показатели травматизма и частота несчастных случаев со смертельным исходом

Исполнителям проектов следует стремиться к полному искоренению несчастных случаев на производстве с участием занятых в проекте работников (нанятых непосредственно исполнителями проекта либо субподрядчиками), особенно несчастных случаев, способных привести к потере рабочего времени, инвалидности различной степени тяжести или даже смертельному исходу. Показатели частоты несчастных случаев на объекте можно сопоставлять с опубликованными показателями предприятий данной отрасли в развитых странах, которые можно получить из таких источников, как, например, Бюро трудовой статистики США и Инспекция по промышленной гигиене и охране труда Соединенного Королевства²⁹.

Мониторинг соблюдения норм охраны труда и техники безопасности

Следует вести мониторинг рабочей среды на наличие вредных производственных факторов, характерных для конкретного проекта. Процесс мониторинга должны

²⁶ См. <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

²⁷

См. http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992

²⁸ См. http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

²⁹ См. <http://www.bls.gov/iif/> и <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

²⁵ См. <http://www.acgih.org/TLV/>

разрабатывать и осуществлять уполномоченные специалисты³⁰ в рамках программы мониторинга соблюдения норм охраны труда и техники безопасности. Предприятиям следует также вести журналы учета случаев производственного травматизма и профессиональных заболеваний, а также опасных ситуаций и несчастных случаев. Дополнительные указания по программам мониторинга соблюдения норм охраны труда и техники безопасности содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

³⁰ К таким уполномоченным специалистам могут относиться сертифицированные специалисты по промышленной гигиене, дипломированные специалисты по гигиене труда, сертифицированные специалисты по охране труда или специалисты аналогичной квалификации.

3.0 Справочная литература и дополнительные источники информации

Allan M. Springer, Ed.: Industrial Environmental Control – Pulp and Paper Industry, 3rd edition, Tappi Press, Atlanta, Ga., 2000

Environment Canada. 2004. Regulations Amending the Pulp and Paper Effluent Regulations [embedding the Environmental Effects Monitoring requirements under Schedule IV]. Published in Part II of the Canada Gazette on May 19, 2004.

European Commission. 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December 2001.

Finnish Environment Institute, A Strategic Concept for Best Available Techniques in the Forest Industry, 2001, URL: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=10759&lan=en>

Finnish Environment Institute, Continuum - Rethinking BAT Emissions of the Pulp and Paper Industry in the European Union, 2007. URL: <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=65130&lan=en>

International Labour Organization, Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, 4th Edition, Chapter 72, Pulp and Paper Industry, Occupational Hazards and Controls.

Oregon Administrative Rule (OAR) 437-02-312

Peter N. Williamson, Ed., Patti Turner, Techn. Ed.: Water Use and Reduction in the Pulp and Paper Industry – A Monograph, Canadian Pulp and Paper Association, 1994

Swedish Paper Industry's Council for Development of Occupational Health and Safety (2005).

United Nations Environment Programme (UNEP), 2006. Revised edited draft guidelines on best available techniques and guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Expert Group on Best Available Techniques and Best Environmental Practices.

US EPA: Final Pulp, Paper, and Paperboard "Cluster Rule".

U.S. Occupational Health Administration regulations for Pulp, Paper, and Paperboard Mills, 29 Code of Federal Regulations (CFR) 1910.261

U.S. EPA. 2002. Sector Notebook Project, Profile of the Pulp and Paper Industry, 2nd Edition. EPA/310-R-02-002. November 2002
<http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/pulp.html>

Приложение А: Общее описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли

Основными этапами производственного процесса в целлюлозно-бумажной промышленности являются: (а) подготовка сырья (например, окорка и измельчение древесины), (б) производство целлюлозы, (с) отбеливание целлюлозы и (д) производство бумаги. Эти процессы описываются ниже. Целлюлозное и бумажное производство могут функционировать как самостоятельно, так и в составе единого комплекса.

Подготовка сырья³¹

Основным источником целлюлозных волокон для производства разных видов бумаги является древесина, однако там, где запасы древесины ограничены, особенно в развивающихся странах, используются и другие источники волокна, например, солома, отжатый сахарный тростник и бамбук. В качестве источника волокна для особых сортов бумажных изделий используются некоторые материалы недревесного происхождения, например, абака, хлопок и пенька.

Древесина для изготовления целлюлозы поступает на предприятие в разных видах, в том числе в виде бревен, щепы и древесной пыли. Что касается леса-кругляка (бревен), то они распиливаются на куски нужной величины и затем очищаются от коры. Если целлюлозное производство действует в комплексе с лесопильным, на этом этапе происходит отбор пригодной к обработке древесины. На такого рода предприятиях отходы или отходы лесопильного производства также измельчаются в щепу; кроме того, важным источником древесины здесь может быть и брак.

Как правило, кора с бревен, не пригодных для производства пиломатериалов, снимается механически (в барабанных окорочных машинах), чтобы не допустить попадания примесей в производимую целлюлозу³². Кора, в зависимости от степени ее влажности, может затем сжигаться для выработки энергии. Если кора не подлежит сжиганию, ее можно использовать в качестве мульчи, напочвенного покрова или для производства древесного угля. Обычно кору, удаляемую гидравлическим способом, собирают в водяные лотки и перед сжиганием обезвоживают и прессуют. В процессе окорки, особенно гидравлическим способом, образуются сточные воды, в которых содержатся биогенные вещества, волокна и поглощающие кислород органические соединения, например, смоляные кислоты, жирные кислоты и т.п.

Некоторые технологии производства целлюлозы, например, получение древесной массы с помощью дефиберного камня, предполагают использование леса-кругляка, однако в большинстве случаев для производства целлюлозы требуется древесная щепа. Для эффективного проведения процесса и получения качественной целлюлозы требуется щепа единого размера (как правило, длиной 20 мм по направлению волокон и толщиной 4 мм). Затем щепа помещается на вибрационные сита, где слишком большие или слишком маленькие щепки отсеиваются. Крупная щепа задерживается на верхнем сите и затем направляется на повторное измельчение, а мелкие щепки обычно сжигаются вместе с корой или продаются для использования в других целях.

³¹ Информация подготовлена на основе документа АОС США «Sector Notebook Project, Profile of the Pulp and Paper Industry», 2-е издание, EPA/310-R-02-002, ноябрь 2002 г.

³² Гидравлический способ окорки – с помощью струи воды под большим давлением – считается устаревшим и экологически вредным из-за высокого БПК в образующихся сточных водах.

Недревесные волокна обрабатываются особым образом с учетом их состава, чтобы свести к минимуму потери волокна и, таким образом, увеличить выход целлюлозы. Обычно сырье недревесного происхождения обрабатывается тюками.

Процессы варки целлюлозы

Растительное сырье состоит в основном из целлюлозных волокон, гемицеллюлозы и лигнина, природного вяжущего вещества, связывающего волокна целлюлозы в древесине и в стеблях растений. При варке целлюлозы целлюлозосодержащее сырье (растительное сырье или вторичная бумага) расщепляется на отдельные волокна, известные как целлюлоза. Процессы варки целлюлозы обычно подразделяются на химические и механические. При химической переработке для размягчения и растворения содержащегося в древесной щепе лигнина используются химические реакции и тепло, после чего посредством механической очистки отделяется волокно. При механическом способе производства целлюлозы древесина часто проходит предварительную обработку горячим паром и/или слабым химическим раствором, однако основной составляющей является использование механического оборудования для превращения древесины в волокнистый материал путем абразивной очистки или измельчения. Разные процессы варки целлюлозы дают целлюлозу, обладающую разными свойствами и предназначенную для разных видов использования.

Химические способы производства целлюлозы из древесины

Основными методами получения целлюлозы являются сульфатный (с применением сульфатного щелока), позволяющий получить крафт-целлюлозу, сульфитный (с применением кислого сульфита) и производство

полуцеллюлозы. На крафт-целлюлозу приходится около 80% выпускаемой сегодня в мире целлюлозы; практически все вновь вводимые мощности ориентированы на ее производство. В сравнении с целлюлозой, производимой механическими способами, крафт- и сульфит-целлюлоза, как правило, имеют более высокую рыночную стоимость и дороже в производстве, поскольку в этих видах целлюлозы волокна имеют более однородное качество, содержат, как правило, меньше лигнина и других древесных компонентов и, соответственно, больше целлюлозного волокна и неповрежденных волокон. Крафт- и сульфит-целлюлоза лучше поддаются отбеливанию и достигают большей степени чистоты или белизны, что важно для многих видов бумажной продукции, а бумага и картон из крафт-целлюлозы обладают, как правило, большей прочностью.

Сульфатный метод производства целлюлозы

Сульфатным методом изготавливается примерно 80 процентов целлюлозы в мире³³. Сульфатный метод стал основным химическим методом производства целлюлозы благодаря тому, что в сравнении с сульфитным методом он дает более прочные волокна, позволяет перерабатывать деревья любых видов и эффективно регенерировать химическое сырье.

При применении сульфатного метода древесная щепа смешивается в варочном котле с белым щелоком – водным раствором, содержащим, главным образом, сернистый натрий (Na_2S) и едкий натр (NaOH). Белый щелок при повышенном давлении и температуре растворяет лигнин и, в меньшей степени, гемицеллюлозу, высвобождая древесные волокна (целлюлозу). Получившийся в результате варки черный щелок, содержащий растворенные органические вещества, отделяется от

³³ European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry, December 2001.

небеленой целлюлозы. Небеленая целлюлоза («масса») обрабатывается кислородом в присутствии едкого натра для извлечения остатков лигнина. Этот процесс называется кислородной делигнификацией. Затем небеленая крафт-целлюлоза отбеливается для обеспечения необходимой белизны, прочности и чистоты конечного продукта (процесс отбеливания будет описан ниже).

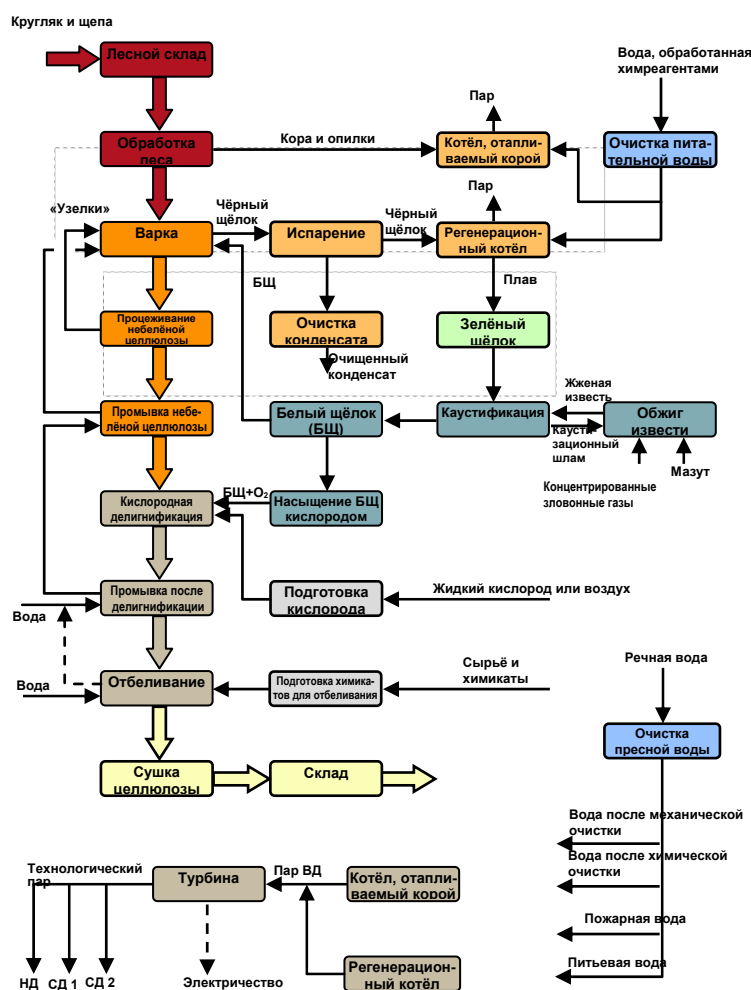
Химические вещества проходят процесс регенерации в рамках так называемого процесса сжигания щелока. Концентрация черного щелока, как правило, повышается путем выпаривания воды, и затем щелок сжигается в специальных регенерационных котлах, где органическая его часть разрушается, а выделенное тепло используется для производства пара, который применяется для других нужд предприятия. В нижней части регенерационного котла образуется плав – смесь соляных расплавов, состоящая, главным образом, из углекислого натрия (Na_2CO_3) и сернистого натрия. Эта смесь, растворяясь в воде, образует зеленый щелок. В каустификаторе к зеленому щелоку добавляется известь (CaO), под действием которой углекислый натрий снова превращается в едкий натр, образуя белый щелок, который возвращается в варочный котел. В каустификаторе образуется также каустизационный шлам, состоящий, главным образом, из карбоната кальция (CaCO_3). Каустизационный шлам превращается в известь путем нагревания в известеобжигательной печи.

Промывная вода, образующаяся в процессе варки целлюлозы сульфатным методом, чаще всего повторно используется при производстве целлюлозы или, если речь идет об отбеленной целлюлозе, – в установке отбеливания. Жидкие стоки при варке неотбеленной целлюлозы обычно ограничиваются небольшим количеством конденсатов и пролитой жидкости. Газообразные выбросы состоят из диоксида серы, сероводорода и других соединений серы с

низкой степени окисления, оксидов азота и твёрдых частиц.

Сульфатный метод получения целлюлозы (включая процесс отбеливания, речь о котором пойдет ниже) представлен на Рисунке 1.

Рисунок 1. Сульфатный метод производства целлюлозы



Сульфитный метод получения целлюлозы

В основе процесса сульфитной варки лежит использование водного раствора диоксида серы и какого-либо основания. От выбора основания зависят условия проведения процесса, возможность утилизации химических веществ и

тепла, использование воды и свойства целлюлозы. В качестве основания используются гидроксиды кальция, натрия, магния и аммония, однако чаще всего при сульфитном методе производства целлюлозы применяется гидроксид магния, а варка с применением гидроксида кальция признана сегодня экологически вредной, и ее применение на вновь вводимых в эксплуатацию предприятиях не предусматривается. Использование в качестве основания гидроксидов натрия и аммония, в основном, прекращено из-за более высокой стоимости этих веществ. Хотя гидроксид кальция сравнительно недорог, применяемые в процессе варки химические соединения не подлежат повторному использованию и удаляются, и поэтому на новых предприятиях это вещество, как правило, не используется.

Сульфитная целлюлоза легче поддается отбеливанию, нежели крафт-целлюлоза, позволяет использовать бесхлорное отбеливание (см. ниже раздел «Отбеливание»), а при сульфитной варке выделяется меньше дурнопахнущих газов и увеличивается выход готовой продукции в сравнении с сульфатной варкой. Однако из-за меньшей прочности получаемого волокна и неразработанности технологий регенерации (за исключением применения гидроксида магния) сульфитный метод оказался неконкурентоспособным и часто приводил к увеличению объема сточных вод. Другим важным фактором, ограничивающим распространение этого метода, является более высокое чистое энергопотребление, нежели при сульфатной варке, а также невозможность использования некоторых пород деревьев (например, сосны), что сужает сырьевую базу. По этим причинам на большинстве вновь создаваемых крупных предприятий по производству целлюлозы предусматривается применение сульфатного метода.

Производство полуцеллюлозы

При производстве полуцеллюлозы древесная щепа частично пропаривается, чтобы ослабить сцепление волокон между собой, и затем проходит механическую обработку в установке для очистки, где волокна механически разделяются. Получаемая таким образом полуцеллюлоза обладает значительной жесткостью и обычно используется для производства гофрированного картона. Наиболее распространенным методом производства полуцеллюлозы является ее нейтрально-сульфитная варка. Кроме того, для производства полуцеллюлозы используется щелочная варка с использованием раствора гидроксида натрия (натронная варка) или модифицированного сульфатного раствора.

Выход полуцеллюлозы составляет от 55 до 90 процентов, в зависимости от используемого метода, однако при этом в целлюлозе высок уровень остаточного лигнина, что делает процесс отбеливания более сложным, нежели при использовании сульфатного или сульфитного методов. Поскольку проведение процесса требует менее жестких условий, нежели сульфатный или сульфитный методы, и поскольку полуцеллюлоза, как правило, не отбеливается, этот метод относительно прост. Кроме того, в сравнении с сульфатным или сульфитным методами для производства полуцеллюлозы требуется меньше химических веществ.

Поскольку составы для варки при изготовлении полуцеллюлозы содержат менее высокую концентрацию органических веществ, нежели при использовании сульфатного или сульфитного методов, регенерация химических веществ обходится дороже, и некоторые предприятия по производству полуцеллюлозы очищают и сливают отработанный раствор, не прибегая к регенерации химических веществ. Поскольку к.п.д. процесса регенерации ниже, в неочищенных стоках таких предприятий

концентрация химических веществ, как правило, выше, нежели в стоках предприятий, использующих сульфатный метод.

Механические методы получения целлюлозы из древесного сырья

К числу механических методов получения целлюлозы относятся термомеханическая обработка (ТМО), химико-термомеханическая обработка (ХТМО) и дефибрирование древесной массы, равно как и другие разновидности этого процесса. Процессы ТМО и ХТМО предусматривают измельчение древесной щепы в древесную массу в дисковых мельницах. Как правило, перед этим щепу обрабатывается паром и/или слабыми растворами химических веществ. Более старый процесс дефибрирования древесной массы заключается в истирании заготовок (небольших бревен) жерновом в древесную массу.

Механическая обработка является высокопроизводительной, однако механическое измельчение древесины сопряжено с большими затратами электроэнергии на измельчение. Целлюлоза, полученная механическим методом, обычно используется для производства печатной и писчей бумаги, которая должна обладать высокой плотностью и хорошо впитывать чернила, а также для производства некоторых видов бумажного картона, для которых нужна большая рыхлость и более дешевые виды целлюлозы. ХТМО может применяться также для производства туалетной бумаги и распушенной целлюлозы.

Термомеханическая обработка целлюлозы (ТМО)

Перед термомеханической обработкой древесную щепу обычно промывают, чтобы удалить камни, песок, металлический лом или другие твердые включения,

которые могут способствовать износу оборудования или повредить его. Промытая и просеянная щепу нагревается паром и затем обрабатывается либо в один этап при повышенной температуре и давлении, либо в два этапа, когда вслед за первой стадией обработки проводится вторая – под повышенным или нормальным давлением. На второй стадии для производства целлюлозы часто используются образовавшиеся в результате просеивания отходы. Использование в больших объемах механической энергии вместо растворения химическими веществами позволяет добиться более ярко выраженного разделения на волокна и получения тонкого материала. Полученная методом ТМО целлюлоза часто используется для производства газетной бумаги.

Значительная часть тех относительно больших объемов электрической энергии, которые требуются для механической обработки, превращается в тепло в виде пара, который получается при испарении влаги из древесины и разбавляющей воды в рафинёрах. За счет того, что процесс проводится при повышенном давлении (до 5 бар выше атмосферного), существенная часть произведенного пара может быть регенерирована и использована для производства чистого технологического пара (например, для сушки бумаги). Частично эта энергия может быть рекуперирована и в виде горячей воды.

В качестве сырья предпочтительнее использовать свежую древесину. Если древесина для термомеханической обработки подлежит хранению, ее обычно хранят в воде или опрыскивают водой для предупреждения высыхания. Поэтому может потребоваться оборудовать склад лесоматериалов системой сбора воды, чтобы не допустить сброса воды, содержащей органические вещества. Часть органических веществ из древесины растворяется в воде и не участвует в процессе образования целлюлозы. Однако,

поскольку потери древесины при производстве целлюлозы методом ТМО очень низки, и большая часть древесины превращается в целлюлозу, теплотворность сточных вод на предприятии, использующем ТМО, слишком низка, чтобы рекуперировать их теми же методами, что и на предприятии, применяющем химические вещества (например, черный щелок). Поэтому на предприятии, использующем ТМО, необходимо обеспечить очистку сточных вод.

Химико-термомеханическая обработка (ХТМО)

Процесс ХТМО представляет собой сочетание ТМО с пропиткой древесной щепы химическими веществами. Промытая и просеянная щепа погружается в пропиточной установке в щелочной раствор. Для древесины мягких пород используется преимущественно сульфит натрия (Na_2SO_3), тогда как для твердых пород – щелочная перекись. После пропитки химическими веществами щепа нагревается, и ее температура последовательно возрастает на первой и второй стадиях последующей обработки. ХТМО по тем же причинам, что и ТМО, часто осуществляют на предприятиях по производству бумаги или картона, однако метод ХТМО применяется и для производства целлюлозы, предназначенной для продажи.

Сочетание нагрева и химической обработки размягчает лигнин и облегчает высвобождение волокон целлюлозы, в результате чего целлюлоза приобретает дополнительную крепость и жесткость. Однако при этом выход готовой продукции меньше и, соответственно, в сравнении с ТМО образуется больше загрязняющих веществ. Как и в случае ТМО, экономически оправданной является регенерация технологической воды, а стоки после очистки могут быть удалены.

Первоначально ХТМО подвергалась преимущественно ель, но сегодня этим методом обрабатывается также твердая древесина низкой плотности, например, осина. ХТМО применяют при производстве целлюлозы для туалетной бумаги, бумажного картона и распушенной целлюлозы, однако осину все чаще используют для производства сортов целлюлозы, пригодных для изготовления печатной и писчей бумаги, причем это обходится дешевле производства целлюлозы химическим методом.

Производство целлюлозы путем дефибрирования древесной массы

При производстве целлюлозы путем дефибрирования древесной массы первоначальное разделение древесины на волокна происходит в дефиберах, где балансы подаются на специальные вращающиеся дефиберные камни так, чтобы направление волокон в них было параллельно оси вращения камня. Большая часть энергии, которая выделяется в процессе дефибрирования, преобразуется в тепло, которое помогает размягчить лигнин и высвободить целлюлозные волокна. Для рассеивания тепла, уменьшения трения и перемещения волокон на следующие стадии производственного процесса используется вода.

В процессе дефибрирования под давлением дефибрирование происходит под повышенным давлением (до 3 бар), что позволяет проводить процесс при более высоких температурах. Повышение температуры обеспечивает более интенсивное размягчение лигнина и улучшение качества целлюлозы (например, повышение прочности), однако технические и финансовые требования при этом гораздо жестче. При снижении давления на целлюлозу образуется пар низкого давления. Рекуперированный пар низкого давления обычно используют для нагревания технологической воды.

Относительно дешевым методом повышения качества полученной таким образом целлюлозы является процесс термодефибрирования. При этом потери тепла при испарении в зоне дефибрирования сокращаются, а температура, при которой проводится процесс, доводится до нужных значений с помощью регуляторов стабильности температуры, а не за счет повышения давления.

Производство целлюлозы из вторичного волокна

Вторичная бумага превращается во все более значимый источник волокна для бумагоделательного производства. На нынешний день около 50 процентов волокносодержащего сырья для бумажного производства получается из переработанного волокна³⁴. В процессе переработки макулатура или утилизируемый бумажный картон повторно увлажняются и превращаются в целлюлозу, главным образом, механическими методами. Чернила, клей и другие загрязнители можно удалять как химическими методами очистки от краски, так и механическим способом. Поскольку волокна в утилизируемой бумаге и бумажном картоне были полностью высушены, а затем вновь увлажнены, по своим физическим свойствам они, как правило, отличаются от целлюлозного волокна, полученного непосредственно из древесины. В некоторых случаях предприятия, перерабатывающие вторичную бумагу, не очищая ее от типографской краски, могут и не сбрасывать сточные воды, поскольку они используют замкнутый водный цикл и небольшие системы анаэробной или аэробной биологической очистки воды от некоторых растворенных в ней органических веществ. Замкнутый цикл имеет смысл использовать в тех случаях, когда допустима определенная степень загрязнения продукции и содержания в ней примесей, например, если

речь идет об определенных сортах упаковочной бумаги и строительного картона. На некоторых предприятиях, работающих со вторичным сырьем, от 30 до 40% переработанного сырья выпадают в осадок, с которым необходимо работать как с твердыми отходами.

Без очистки от типографской краски

Переработка вторичной бумаги без ее очистки от типографской краски позволяет получить продукцию, не требующую высокой степени чистоты, например, гофрированный картон, плотный картон и некоторые виды туалетной бумаги.

С очисткой от типографской краски

Процессы очистки от типографской краски используются для удаления красителей и для того, чтобы придать целлюлозе белизну и чистоту. Иногда после очистки от типографской краски проводится еще и отбеливание. Очищенное от краски вторичное волокно используется для производства бумаги более высокой степени белизны, например, газетной, журнальной, туалетной.

Используемая здесь технологическая вода весьма сходна с той, что используется в системах, не предусматривающих очистки от типографской краски. Однако очистка от типографской краски уменьшает выход готовой продукции и требует дополнительной очистки воды на предприятии. Выход целлюлозы может составлять от 60 до 70 процентов загружаемой макулатуры; таким образом, от 30 до 40 процентов сырья оказываются в оборотной воде, и до сброса воду необходимо очистить от этих примесей и удалить их.

³⁴ U.S. EPA, Sector Notebook Project, Profile of the Pulp and Paper Industry, 2nd Edition, EPA/310-R-02-002, November 2002.

Производство целлюлозы из сырья недревесного происхождения

В мире в целом недревесные источники дают около шести процентов волокна, используемого в производстве бумаги. Это волокно получают из продуктов сельскохозяйственного производства, например, соломы, а также из других растений, таких, как бамбук, багасса (отжатый сахарный тростник), и из однолетних текстильных культур, например, кенафа. В целом, волокнистое сырье недревесного происхождения дороже собирать и перерабатывать, нежели древесину (в тех регионах мира, которые обладают её достаточными запасами), и поэтому в большинстве регионов целлюлозу производят почти исключительно из древесных волокон. Однако значительные объёмы целлюлозы производятся и из сырья недревесного происхождения, прежде всего, в тех районах Азии и Африки, где запасы древесины несколько меньше, но зато имеется волокно недревесного происхождения.

Багасса, солома, тростник и т.п.

Большинство недревесных волокон имеют относительно небольшую длину, подобно волокнам твердых пород деревьев, и поэтому они подходят для производства аналогичной продукции, например, писчей бумаги. Однако часто недревесные волокна используют и для других видов продукции, например, газетной бумаги и гофрированного картона, просто из-за нехватки на местах древесины для производства целлюлозы.

Обработка недревесных материалов обычно проходит гораздо быстрее, чем обработка древесной щепы. Поэтому вместо сульфатного способа часто применяют натронную варку (только с едким натром), и затраты при этом оказываются ниже. Концентрация растворенных органических веществ и технологических химикатов в отработанном щелоке обычно ниже, нежели при

применении химического способа производства целлюлозы из древесины, и из-за этого затраты на регенерацию химических веществ более высоки. Кроме того, предприятия, производящие целлюлозу из недревесного сырья, обычно невелики. Их производительность составляет, как правило, менее 100 000 тонн целлюлозы в год, и поэтому здесь недостижима экономия от масштабов производства, благодаря которой на более крупных предприятиях капиталовложения в охрану окружающей среды оказываются экономически оправданными. В результате многие предприятия, производящие целлюлозу из недревесного сырья, не проводят рекуперацию химикатов или проводят ее в ограниченных масштабах, и поэтому выбросы отходов в расчете на тонну продукции здесь существенно выше, нежели на современных предприятиях, использующих сульфатную технологию.

Содержание кремнезёма в недревесных растениях обычно выше, чем в древесине. Кремнезём создает проблемы для рекуперации химических веществ и, кроме того, отрицательно влияет на качество бумаги. В частности, кремнезём увеличивает количество накипи в испарителях щелока и снижает эффективность как каустификации, так и конверсии каустизационного шлама (карбонат кальция) в оксид кальция (гашеная известь) в известеобжигательной печи. Для решения этой проблемы предприятия, производящие целлюлозу из недревесного сырья, обычно сбрасывают большую долю каустизационного шлама и закупают больше извести или известняка для восполнения убыли.

Хлопок и другое длиноволокнистое сырье

Некоторые недревесные волокна обладают особыми качествами, превращающими их в ценное сырье для производства целлюлозы. Так, длинные волокна хлопковых очёсов, пеньки, льна и абаки хорошо использовать,

например, для производства бумаги с водяными знаками для документов, бумаги для печатания банкнот и ценных бумаг, чайных пакетиков и т.п. Объемы выпуска подобной специализированной продукции невелики, и поэтому она не вызывает серьезного беспокойства с точки зрения возможных экологических последствий.

Отбеливание

Отбеливание – это процесс обработки целлюлозы с помощью химических веществ для повышения степени ее белизны. Бумага, изготовленная из отбеленной целлюлозы, белее, ярче, мягче и обладает лучшими впитывающими свойствами, нежели бумага из неотбеленной целлюлозы. Отбеленная целлюлоза используется для производства продукции, которая требует высокой степени чистоты и не допускает желтизны (например, печатной и писчей бумаги). Неотбеленная целлюлоза, как правило, применяется для производства коробочного и облицовочного картона, а также пакетов для бакалейных товаров.

Отбеливать можно любую целлюлозу, однако способ и степень отбеливания в большой степени зависят от типа волокна и способа изготовления целлюлозы, а также от требований к качеству и конечного использования получившегося продукта. Фактором, в наибольшей степени влияющим на возможность отбеливания целлюлозы, является содержание в ней лигнина. Целлюлоза с высоким содержанием лигнина (например, изготовленная механическим или полухимическим способом) с трудом поддается полному отбеливанию и требует использования сильнодействующих химических веществ. Чрезмерное отбеливание целлюлозы, полученной механическим или полухимическим способом, приводит к уменьшению выхода целлюлозы из-за разрушения волокон. Целлюлоза, произведенная химическим методом, в силу низкого (10

процентов) содержания в ней лигнина в большей степени поддается отбеливанию.

Если удаление лигнина можно производить, используя замкнутую систему оборотной воды, то стоки из отбеливающих установок, как правило, направляются на очистку за пределы предприятия. Трудности с рециркуляцией стоков из отбеливающих установок и рекуперацией химических веществ связаны с тем, что в результате в системе рекуперации возрастает содержание хлоридов и других нежелательных неорганических веществ, что может повлечь за собой коррозию, образование накипи и другие проблемы.

Целлюлоза, изготовленная химическими методами

Чаще всего для отбеливания целлюлозы, изготовленной химическими методами, применяются такие химические вещества, как диоксид хлора, кислород, озон и перекись водорода. В последнее время в качестве отбеливателя начала широко применяться перуксусная кислота. Хлор и гипохлорит как отбеливатели в последние годы в значительной мере были выведены из употребления. В небольших количествах хлор образуется в качестве побочного продукта при большинстве способов производства диоксида хлора, и, по крайней мере, частично, этот хлор присутствует при применении диоксида хлора в качестве отбеливателя. Диоксид хлора и озон должны производиться на месте. Перекись водорода, кислород и щелочь могут поступать на предприятие извне. Озон является очень химически активным отбеливателем, тогда как диоксид хлора, кислород и перекись водорода химически менее активны.

Внедрение удлиненной варки и кислородного метода делигнификации дало возможность повысить

эффективность регенерации химических веществ, а также разработать и внедрить иные, помимо хлора, отбеливатели, что существенно сократило общее количество органических веществ и объем хлорсодержащих химических веществ, возникающих в процессе отбеливания. Предварительная обработка отбеливателей энзимами также может повысить их эффективность, однако, как правило, это уменьшает выход конечной продукции.

Процесс отбеливания, как правило, проходит в четыре-пять отдельных этапов. На каждом этапе применяются разные химические вещества, и обычно поочередно используются кислота и щелочь. На каждом этапе применяются устройства для перемешивания химических веществ и целлюлозы, реакторы для отбеливания, запрограммированные на время, необходимое для протекания химической реакции, и оборудование для промывки, позволяющее отделить использованные химические вещества и удалить лигнин и другие растворенные вещества из целлюлозы.

Двумя основными методами отбеливания являются ECF (без элементарного хлора – молекулярный или газообразный хлор при отбеливании не применяется) и TCF (полностью без хлора). При отбеливании методом ECF диоксид хлора и щелочь используются для удаления растворенного лигнина, а перекись водорода и кислород – в качестве средств, усиливающих экстракцию. При применении метода TCF для удаления лигнина используются кислород, озон или перуксусная кислота, а также перекись водорода со щелочью. При изготовлении крафт-целлюлозы отбеливание производится методами как ECF, так и TCF, однако метод ECF распространен шире.

Целлюлоза, полученная механическим способом

Отбеливание целлюлозы, полученной механическим способом, основано на методах сохранения лигнина, и в этом заключается его принципиальное отличие от отбеливания целлюлозы, полученной химическим способом, суть которого заключается в удалении лигнина. При отбеливании целлюлозы, полученной механическим способом, хромофорные группы в полимерах лигнина обесцвечиваются. Таким образом, при отбеливании целлюлозы, полученной механическим способом, прежде всего, повышается белизна целлюлозы при минимальных потерях сухого вещества и конечной продукции. Эффект не является постоянным, и со временем бумага желтеет. Поскольку полученная белизна нестойка, беленая целлюлоза, полученная механическим способом, больше подходит для изготовления газетной и журнальной бумаги, нежели бумаги для книг и подлежащих долгому хранению документов.

Отбеливание без растворения лигнина проходит в один или два этапа, в зависимости от требований, предъявляемых к белизне целлюлозы. Этапы отбеливания различаются в зависимости от применяемого отбеливателя.

При отбеливании восстановителями используется дитионит натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), который не вымывает органическое вещество из целлюлозы и поэтому лишь минимально сокращает выход готовой продукции. Остаточный дитионит в целлюлозе может вызвать коррозию металлических деталей на последующих этапах технологического процесса. На большинстве предприятий для предотвращения разложения дитионита используются хелатные добавки для металлов (например, ЭДТК, ДТПА).

При отбеливании окислителями используется перекись водорода (H_2O_2). При ее применении выход готовой продукции сокращается примерно на 2 процента. Это происходит, главным образом, из-за того, что под воздействием щелочи в процессе отбеливания некоторые органические вещества, содержащиеся в древесине, растворяются (что ведет и к повышению концентрации загрязнений). Отбеливание посредством перекиси водорода также повышает прочность целлюлозы и ее способность к поглощению влаги. Присутствие ионов металлов снижает степень белизны конечного продукта, и поэтому перед началом отбеливания обычно вносятся хелатные добавки (например, ЭДТК, ДТПА), реагирующие с тяжелыми металлами (например, железом, марганцем, медью, хромом), что предохраняет целлюлозу от обесцвечивания, а перекись – от разложения. ЭДТК и ДТПА содержат азот, выводящийся со сточными водами. Промывание готовой целлюлозы перед отбеливанием весьма эффективно для снижения содержания этих металлов, что позволяет сократить требуемое количество хелатных добавок и повысить эффективность используемой перекиси. Кислотность беленой целлюлозы повышают с помощью серной кислоты или диоксида серы до значений pH 5-6.

Производство бумаги

Изготовленная (и, в случае необходимости, отбеленная) целлюлоза проходит подготовку для последующего использования для производства бумаги. Если целлюлоза подлежит транспортировке на бумагоделательные или картонажные предприятия, то на этом этапе ее просто высушивают и упаковывают в тюки. Обработка целлюлозы на целлюлозно-бумажных предприятиях включает в себя составление смеси в соответствии с тем, какая бумага производится, добавление воды, размол и очистку для повышения плотности и прочности, а также внесение

необходимых добавок. Эти добавки используются для получения бумаги с особыми свойствами или для упрощения процесса ее изготовления. К числу таких добавок относятся канифоль и парафины, усиливающие водоотталкивающие свойства бумаги, наполнители, такие, как глиноземы, кремнеземы и тальк, неорганические и органические красители для придания цвета, и некоторые неорганические вещества (например, сульфат кальция, сульфид цинка и диоксид титана) для улучшения текстуры, печатных свойств, непрозрачности и белизны.

Подготовленная целлюлоза перерабатывается в бумагу в бумагоделательных машинах, самой распространенной из которых является столовая (с плоской сеткой). В таких машинах бумажная масса поступает на движущуюся замкнутую в кольцо сетку и проходит на ней первые этапы обработки. Вода удаляется под действием силы тяжести, в вакуумных камерах и с помощью вакуумных барабанов. Эта вода, содержащая большое количество волокон, направляется на рекуперацию, в процессе которой эти волокна извлекаются. Затем бумажное полотно протягивается между вальцами пресса, в результате чего происходит его дальнейшее обезвоживание и уплотнение волокон.

После прессования полотно попадает в сушильную часть, где по мере того, как оно прижимается к нагреваемым паром цилиндрам, бумажные волокна плотно сцепляются между собой. В каландре полотно проходит между тяжелыми валами, благодаря чему его толщина уменьшается, а поверхность становится более гладкой. На этом этапе на бумагу иногда наносится покрытие, делающее ее глянцевой и улучшающее качество ее цвета, печатные свойства и яркость. Более тонкие покрытия наносятся непосредственно на машине, а более плотные -

вне её. Полученная бумага наматывается на рулоны для последующего складирования.

Приложение В: Нормативы выбросов и сбросов / Контрольные показатели использования ресурсов

Таблица 1 (а) – Нормативы сбросов для целлюлозно-бумажных предприятий (ЦБП): комплексные ЦБП, крафт-целлюлоза с отбеливанием

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^а	м³/тВС (воздушно сухая)	50
рН	рН	6 – 9
ТВВ	кг/тВС	1,5
ХПК	кг/тВС	20
БПК ₅	кг/тВС	1
АОГ	кг/тВС	0,25
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,2 ^б

Таблица 1 (с) – Нормативы сбросов для ЦБП: сульфитный метод, комплексные и неинтегрированные предприятия

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^а	м³/тВС	55 ^а
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	2,0
ХПК	кг/тВС	30 ^с
БПК ₅	кг/тВС	2,0
АОГ	кг/тВС	0,005
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,5
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,05

Таблица 1 (b) – Нормативы сбросов для ЦБП: комплексные ЦБП, крафт-целлюлоза без отбеливания

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^а	м³/тВС	25
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	1,0
ХПК	кг/тВС	10
БПК ₅	кг/тВС	0,7
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,2
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,02

Таблица 1 (d) – Нормативы сбросов для предприятий ХТМО

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^а	м³/тВС	20
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	1,0
ХПК	кг/тВС	5
БПК ₅	кг/тВС	1,0
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,2
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,01

Таблица 1 (е) – Нормативы сбросов для ЦБП: комплексные ЦБП, механический способ

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^а	м³/тВС	20
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	0,5
ХПК	кг/тВС	5,0
БПК ₅	кг/тВС	0,5
АОГ	кг/тВС	0,01
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,1
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,01

Таблица 1(f) – Нормативы сбросов для ЦБП: вторичное волокно, без очистки от типографской краски, комплексные ЦБП

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^а	м³/тВС	10
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	0,15
ХПК	кг/тВС	1,5
БПК ₅	кг/тВС	0,15
АОГ	кг/тВС	0,005
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,05
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,005

Таблица 1(g) – Нормативы сбросов для ЦБП: вторичное волокно, с очисткой от типографской краски, комплексные ЦБП

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^а	м³/тВС	15
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	0,3
ХПК	кг/тВС	4,0
БПК ₅	кг/тВС	0,2
АОГ	кг/тВС	0,005
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,1
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,01

Таблица 1 (h) – Нормативы сбросов для ЦБП: вторичное волокно, производство туалетной бумаги

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^а	м³/тВС	25
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	0,4
ХПК	кг/тВС	4,0
БПК ₅	кг/тВС	0,5
АОГ	кг/тВС	0,005
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,25
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,015

**Таблица 1 (i) – Нормативы сбросов
для ЦБП: производство
высокосортной бумаги без покрытия**

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^a	м³/тВС	15
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	0,4
ХПК	кг/тВС	2,0
БПК ₅	кг/тВС	0,25
АОГ	кг/тВС	0,005
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,2
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,01

**Таблица 1(j) – Нормативы сбросов для
ЦБП: производство высокосортной
бумаги с покрытием**

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^a	м³/тВС	15
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	0,4
ХПК	кг/тВС	1,5
БПК ₅	кг/тВС	0,25
АОГ	кг/тВС	0,005
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,2
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,01

**Таблица 1 (к) – Нормативы сбросов
для ЦБП: производство туалетной
бумаги**

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^a	м³/тВС	25 000
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	0,4
ХПК	кг/тВС	1,5
БПК ₅	кг/тВС	0,4
АОГ	кг/тВС	0,01
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,25
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,015

**Таблица 1 (l) – Нормативы сбросов для
ЦБП: подготовка недревесного волокна**

Параметр	Единицы	Значение норматива
Расход ^a	м³/тВС	50
рН		6 – 9
ТВВ	кг/тВС	2,0
ХПК	кг/тВС	30
БПК ₅	кг/тВС	2,0
Азот, общее содержание	кг/тВС	0,5
Фосфор, общее содержание	кг/тВС	0,05

Источники: European Commission. 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December 2001; и U.S. EPA Effluent Guidelines for the Pulp, Paper, and Paperboard Point Source Category, 40 CFR Part 430.

Примечания:

кг/тВС = килограммов загрязнителя на 1 000 кг (1 т) воздушно-сухой целлюлозы

а Сброс охлаждающей воды и иной незагрязнённой воды осуществляется отдельно, и её объёмы здесь не учитываются.

б Любые выбросы азота, связанные с использованием комплексобразующих реагентов, следует прибавить к показателю в строке «Азот, всего».

с Поскольку после варки по методу Магнефит содержание каппа-частиц выше, уровень ХПК при использовании наилучшей доступной технологии составляет 35 кг/тВС.

д За исключением стока технологической воды от бумажного производства на целлюлозно-бумажных комбинатах с сульфитным методом варки целлюлозы.

**Таблица 2 – Нормативы выбросов в атмосферу
для целлюлозно-бумажных предприятий**

Параметр	Вид предприятия и процесса	Единицы	Значение норматива
TBB	Крафт-целлюлоза с отбеливанием	кг/тВС	0,5
	Крафт-целлюлоза без отбеливания – комплексные предприятия	кг/тВС	0,5
	Сульфитный метод – комплексные и неинтегрированные предприятия	кг/тВС	0,15
SO ₂ в пересчете на S	Крафт-целлюлоза с отбеливанием	кг/тВС	0,4
	Крафт-целлюлоза без отбеливания – комплексные предприятия	кг/тВС	0,4
	Сульфитный метод – комплексные и неинтегрированные предприятия	кг/тВС	1,0
NO _x в пересчете на NO ₂	Крафт-целлюлоза с отбеливанием	кг/тВС	1,5 для целлюлозы из твердых пород 2,0 для целлюлозы из мягких пород
	Крафт-целлюлоза без отбеливания – комплексные предприятия	кг/тВС	1,5 для целлюлозы из твердых пород 2,0 для целлюлозы из мягких пород
	Сульфитный метод – комплексные и неинтегрированные предприятия	кг/тВС	2,0
Восстановленные соединения серы в пересчете на S	Крафт-целлюлоза с отбеливанием	кг/тВС	0,2
	Крафт-целлюлоза без отбеливания – комплексные предприятия	кг/тВС	0,2

Источники: European Commission. 2001. *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry*. December 2001; и U.S. EPA National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants For Source Categories, 40 CFR Part 63.

Примечания:

TBB = твёрдые взвешенные вещества

SO₂ = диоксид серы

S = серы

NO₂ = диоксид азота

N = азот

кг/тВС = килограммов загрязнителя на 1 000 кг (1 т) воздушно-сухой целлюлозы

АОГ = адсорбируемые органические галогенпроизводные

Таблица 3 – Потребление воды и энергии

Вид технологии и предприятия	Диапазон отчетного потребления		
	Потребление воды (м³/т) ^a	Тепловая энергия (ГДж/т)	Электроэнергия (кВт/т)
Производство целлюлозы сульфатным методом с отбеливанием	20 – 100 ^b	10 - 14	600 – 800 ⁱ
Производство целлюлозы сульфитным методом (с гидроксидом магния)	40 - 100		
Производство целлюлозы механическим способом (дефибрирование)	5 – 15		1100 – 2200 ^c
Производство целлюлозы механическим способом (ТМО)	4 – 10		1800 – 3600 ^d
Производство целлюлозы механическим способом (ХТМО)	15 - 50		1000 – 4300 ^e
Переработка макулатуры в немелованный картон для складных коробок	2 – 10		
Переработка макулатуры в мелованный картон для складных коробок	7 – 15		
Переработка макулатуры во внутренний слой гофрокартона и упаковочную бумагу	1,5 – 10		
Переработка макулатуры в газетную бумагу	10 – 20		
Переработка макулатуры в туалетную бумагу	5 – 100 ^c		
Переработка макулатуры в писчую и печатную бумагу	7 - 20		
Бумажное производство – туалетная бумага	10 – 50 ^f		500 – 3000
Бумажное производство – немелованная писчая и печатная бумага	5 – 40 ^g		500 – 650
Бумажное производство – мелованная писчая и печатная бумага	5 – 50 ^g		650 - 900
Бумажное производство – картон	0 – 20 ^h		~550 - 680
Бумажное производство – специализированные сорта бумаги	10 - 300		

Источник: European Commission. 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December 2001

Примечания:

- Незагрязненную воду для охлаждения обычно при представлении отчетности о водопотреблении не учитывают.
- Если в отчетах указываются объемы водопотребления, превышающие 50 м³/т, то, вероятно, учитывается и вода для охлаждения.
- Примерно 20% энергии используется повторно в виде горячей воды.
- Примерно 20% энергии используется повторно в виде горячей воды, а примерно 40 – 45% - в виде пара.
- Водопотребление при производстве туалетной бумаги в большой степени зависит от условий технологического процесса (например, скорости машины) и характеристик продукции (например, основной массы). Из-за низкой основной массы продукции потребление воды в расчете на тонну продукции может быть выше, чем на иных видах бумажных фабрик.
- Если бумага изготовлена из вторичного волокна – включено потребление воды на переработку этого волокна.
- Может включать потребление воды на переработку целлюлозы.
- Включая потребление воды на переработку целлюлозы.
- Современные предприятия по производству отбеленной крафт-целлюлозы являются нетто-поставщиками электроэнергии, поскольку за счет сжигания черного щёлока и древесной коры обычно производят её примерно на 30% больше, чем потребляют.