

**Белорусский национальный технический
университет**
Факультет горного дела и инженерной экологии
Кафедра «Инженерная экология»

**ЭЛЕКТРОННЫЙ
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ»**

**для специальности 1-57 01 02
«Экологический менеджмент и аудит в
промышленности»**

Составители: А.А. Хрипович, И.В. Скуратович

Рассмотрено и утверждено
на заседании совета факультета горного дела и инженерной
экологии «31» мая 2021 г., протокол № 11

Минск 2021

Составители: А.А. Хрипович, И.В. Скуратович

Рецензенты: Кафедра нефтегазопереработки и нефтехимии Белорусского государственного технологического университета; старший научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси к.т.н., доцент Сосновская Наталия Евгеньевна

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) содержит сведения о воздействии на окружающую среду различных отраслей промышленности основных принципов более чистого производства как современного подхода к регулированию природоохранной деятельности на уровне технологических процессов, промышленных предприятий и организаций, государственного управления и международной деятельности в области охраны окружающей среды. В ЭУМК представлены современные данные о экологически чистых и безотходных технологиях, о методах и принципах более чистого производства. Раскрыта иерархия технических методов охраны окружающей среды, представлена характеристика методов предотвращения загрязнения для различных сфер промышленности. Сформировано представление об особенностях применения экологически чистых технологий для организации системы экологического менеджмента как неотъемлемой части общей системы управления предприятием.

ЭУМК предназначен как для самостоятельной подготовки студентов очной и заочной форм обучения, так и для проведения практических занятий с магистрантами и слушателями, имеющими различный уровень подготовки.

© БНТУ, 2021

© Хрипович А.А., Скуратович И.В., 2021

Пояснительная записка

ЭУМК по учебной дисциплине «Перспективные и экологически чистые технологии» представляет собой комплекс систематизированных учебных и методических материалов, а также дидактических средств обучения. Он предназначен для использования в образовательном процессе по специальности 1-57 01 02 «Экологический менеджмент и аудит в промышленности». ЭУМК разработан в соответствии с учебной программой по учебной дисциплине «Перспективные и экологически чистые технологии» для специальности, утвержденной 23.09.2016 г., регистрационный № УД - ФГДЭ 89-20/уч.

Цель ЭУМК - помочь студентам, магистрантам, аспирантам и педагогам сформировать целостную систему знаний в области перспективных и экологически чистых технологий.

ЭУМК способствует успешному осуществлению учебной деятельности, дает возможность планировать и осуществлять самостоятельную работу студентов, обеспечивает рациональное распределение учебного времени по темам учебной дисциплины и совершенствование методики проведения занятий.

ЭУМК по учебной дисциплине «Перспективные и экологически чистые технологии» включает 4 модуля:

1. Теоретический. Содержит сведения о современных проблемах, связанных с промышленным воздействием на окружающую среду, методологии решения возникающих проблем, изучении современных программ более чистого производства для различных отраслей промышленности.

2. Практический. Содержит практические работы по учебной дисциплине «Перспективные и экологически чистые технологии»

3. Вспомогательный. Содержит контрольные вопросы для студентов и перечень вопросов к зачету.

4. Информационный. Содержит перечень актуальной литературы.

Оглавление

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	6
Тема 1. Антропогенное воздействие на окружающую среду.....	6
Тема 2. Методы снижения загрязнения окружающей среды	7
Тема 3. Характеристика методологии более чистого производства..	9
Тема 4. Условия и выгоды для более чистого	12
производства в промышленном секторе экономики.....	12
Тема 5. Концепция и содержание программ более	13
чистого производства.....	13
Тема 6. Оценка результатов программ более чистого производства	21
Тема 7. Методы более чистого производства для	23
энергосбережения.....	23
Тема 8. Использование более чистых технологий для.....	31
экономии воды.....	31
Тема 9. Использование более чистых технологий для.....	34
сбережения сырья и материалов	34
Тема 10. Использование методов более чистых.....	36
технологий для летучих органических соединений.....	36
Тема 11. Методы управления более чистым производством	41
Тема 12. Экологический менеджмент и более чистое	43
производство.....	43
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	47
3.КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ.....	64

Примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся	64
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	69

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Тема 1. Антропогенное воздействие на окружающую среду

Важная стадия культурно-хозяйственного развития человечества, известная как промышленная революция, началась в Англии в 1760-х годах.

Предпосылки промышленной революции:

1) развитие фабрик и фабричной системы производства. Переход от ремесленного к промышленному производству и посменный график работы;

2) научные открытия и технологические новшества в текстильной отрасли, производстве стали, создании паровой турбины и др.;

3) новый вид владения предприятием – акционерные общества с ограниченной ответственностью;

4) изменение правил организации труда и рабочей силы. Индустриализация означала отказ от традиций и перенос акцентов с качества товаров на количество.

В результате промышленной революции в обществе был достигнут высокий уровень производства при полном игнорировании экологических аспектов.

Промышленная революция потребовала притока сырья и в настоящее время привела к созданию развитого индустриального общества. Оно имеет свои характеристики и потребности. Начиная с этого времени, постепенная трансформация ранних индустриальных обществ в развитые индустриальные привела к значительному среднему увеличению потребления энергии, росту объемов сельскохозяйственного производства, валового национального продукта на душу населения, продолжительности жизни людей, а также к сокращению темпов прироста населения и растущей урбанизации.

Основные причины проблем в области охраны окружающей среды, использования ресурсов и социальных отношений включают:

- перенаселение и перепотребление;
- распределение населения — демографический взрыв или кризис городов. Наиболее сложные проблемы загрязнения воздуха и вод возникают тогда, когда большие массы населения или промышленное производство концентрируются на городских террито-

риях;

- перепотребление и расточительность при использовании природных ресурсов, особенно в промышленно развитых странах, морально устаревшее оборудование, производство ненужной и вредной продукции, малая степень рециркуляции и повторного использования важнейших ресурсов;

- изменение биосферы Земли — усиление процессов эрозии, наводнения, уменьшение биоразнообразия, а также ущерб, наносимый насекомыми и болезнями;

- кризис экономического и политического управления — излишняя надежда на различные типы экономического роста вместо поощрения таких форм, как предотвращение загрязнения, рециркуляция и сохранение ресурсов;

- большая часть стоимости загрязнения, деградации окружающей среды и истощения природных ресурсов, вызванных производством товаров и услуг, не может быть включена в рыночные цены;

- антропоцентрический взгляд на мир и поведение вместо биоцентрических взглядов и поведения.

Эти и другие факторы взаимодействуют сложным и далеко не всегда понятным образом, что приводит к возникновению серьезных последствий в окружающей среде, а также к социальным проблемам.

Тема 2. Методы снижения загрязнения окружающей среды

В своём историческом развитии большинство развитых стран использовали следующие четыре стратегии для уменьшения воздействия на окружающую среду, сокращения загрязнения и количества отходов (рисунок 1).

1 – стратегия разбавления (50-60 гг. 20-ого века) – предполагала рассеивание выбросов с помощью высоких дымовых труб и разбавление сточных вод природными водами. Сущность данной технологии заключалась в том, что если загрязнение разбавлено или распространено на большой территории, то оно фактически не прино-

сит вреда. Данная стратегия привела к распространению загрязнения.

2 – стратегия очистки выбросов – предполагала установку фильтров и других сооружений для очистки сбросов и выбросов промышленных предприятий (стратегия «конца трубы» 70-80 гг. 20-ого века). Однако решение одних экологических проблем влекло за собой возникновение новых, т.к. загрязнение переносится из одной среды в другую.

3 – стратегия переработки отходов и их повторного использования (80 гг.). В рамках этой стратегии были разработаны новые технологии, основанные на вторичном использовании бумаги, стекла, металлолома и т.д. Эта стратегия рассматривала процесс использования готовой продукции и получения сырья из отходов потребления, однако не затрагивала процесс производства и связанных с ним экологических проблем. Рециркуляция вне процесса, в котором возникают отходы (в другом процессе) хотя и сохраняет первоначальное сырьё и уменьшает количество отходов, однако ее недостатками являются:

- необходимость наличия предприятия, которое использует отходы в качестве сырья;
- необходимость соответствия отходов параметрам качества других предприятий;
- транспортировка, оказывающая негативное влияние на окружающую среду;
- дополнительные затраты финансовых и трудовых ресурсов.

4 – стратегия, предотвращающая загрязнение и более чистое производство (БЧП) (90 гг.). Стратегия основывается на устойчивом производстве продукции и придает вопросам охраны окружающей среды первостепенное значение. Экологические проблемы должны решаться в источнике загрязнения. Это одна из основных концепций БЧП.



Рисунок 1 – Стратегии для уменьшения воздействия на окружающую среду

Тема 3. Характеристика методологии более чистого производства

БЧП должно являться неотъемлемой частью полноценной системы экологического управления, как на уровне отдельного предприятия, так и на государственном уровне.

Причины возникновения стратегии более чистого производства:

1. наиболее эффективный подход к охране окружающей среды;
2. давление на предприятие правительства и общественности;
3. стратегия «конца трубы» не удовлетворяет требованиям ужесточающегося природоохранного законодательства.

Концепция БЧП возникла на основе существовавших ранее представлений о чистой технологии и безотходной или малоотходной технологии.

В настоящее время не существует согласованного единого определения БЧП.

Стратегия БЧП – это не только техническое решение проблемы. БЧП включает: административные, экономические и информационные мероприятия.

БЧП связано с концепциями жизненного цикла продукции (ЖЦП). Оно:

1. подвергает сомнению необходимость в самом товаре. Часто функция, которую выполняет товар, может быть обеспечена более экологически чистым и безопасным способом, требующим меньшего количества материалов и энергии. Например, одноразовые алюминиевые банки, пластиковые бутылки могут быть заменены стеклянной тарой. Хороший и надежный общественный транспорт более эффективен, чем частные автомобили, так как перевозит большее количество людей, потребляя то же самое количество ресурсов и энергии;

2. использует различные подходы к выбору материала, системе и созданию товара. Экологически чистое производство начинается с всестороннего взгляда на путь потока товаров в обществе. В особенности этот взгляд фокусируется на товарной цепи: откуда берется сырье, как и где оно обрабатывается, какие отходы образуются в процессе производства, какие товары получаются из этого сырья и что происходит с ними в течение срока их годности и при окончательной утилизации.

3. проектирует товар долговечный и пригодный для повторного использования;

4. снижает использование энергии, воды и сырья;

5. использует безопасный и нетоксичный подходы в процессе производства;

6. повторно перерабатывает экологически безопасные материалы;

7. снижает потребление на материалоёмком производстве, сохраняя качество товара и уровень жизни;

8. гарантирует работу в сфере устойчивой экономики;

9. защищает биологическое и социальное многообразие.

На конференции по экологическому устойчивому безопасному промышленному развитию было дано следующее определение более чистому производству:

БЧП – более глобальный подход к защите ОС, включающий и рассматривающий все фазы процесса производства или жизненного цикла продукции с целью предотвращения и минимизации как ближайших так и отдаленных рисков для человека и ОС.

Наиболее часто используется определение центра программной деятельности по промышленности и окружающей среде ООН.

Экологически БЧП предполагает постоянное применение интегрированных предупредительных стратегий охраны ОС к процессам и продуктам для снижения риска загрязнения ОС и отрицательного воздействия на человека.

Для производственного процесса экологически БЧП подразумевает экономию энергии и сырья, использование менее токсичного сырья, снижение количества и токсичности всех выбросов и отходов до того как они покинут процесс.

Для продуктов стратегия БЧП направлена на снижение влияния продукта на ОС на протяжении всего жизненного цикла.

Для услуг стратегия БЧП рассматривает вопросы проектирования и разработки формата услуги, меры хорошего хозяйствования и отбор наилучших параметров, входящих в систему услуг (рисунок 2).



Рисунок 2 – Стратегия более чистого производства.

Впервые программы БЧП появились в 1992г. В США.

Тема 4. Условия и выгоды для более чистого производства в промышленном секторе экономики

Одним из основных подходов БЧП является (рисунок 3).



Рисунок 3 – Предотвращение (уменьшение) загрязнения в источнике

Примеры практических подходов БЧП:

1. Замена сырья и исходных материалов:

- использование менее опасных или менее токсичных растворителей при очистке или окраске изделий;
- замена растворителей водой;
- замена отбеливания хлором на отбеливание кислородом;
- закупка сырья, не содержащего опасных или токсичных примесей.

2. Технологические изменения:

- замена очистки растворителями на механическую очистку;
- переход на порошковые краски;
- переход с ручной на автоматическую подачу и дозирование химикатов;

г) установка герметичной системы регенерации, испарения;

3. Изменение в проектировании продукции:

а) отказ от использования токсичных веществ в продукции;

б) более компактные изделия для изменения упаковки;

в) увеличение долговечности продукции;

г) проектирование продукции, легко поддающейся ремонту;

д) применение вторично используемых материалов;

4. Улучшение в организации административно-хозяйственной деятельности:

а) регулярное обучение персонала;

б) улучшение контроля за эксплуатируемыми параметрами;

в) оптимизация закупок и методов учета исходных материалов;

г) улучшение условий хранения сырья и материалов;

д) прекращение утечек, развалов, рассыпания;

е) отключение неиспользуемых электроприборов или установка автоматических выключателей.

Так как невозможно создать абсолютно чистые процессы БЧП не исключает методов конца трубы, однако требует иерархического подхода

Тема 5. Концепция и содержание программ более чистого производства

Составные части методологии БЧП представлены на рисунке 4.

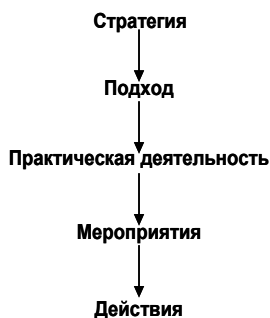


Рисунок 4 – методология БЧП

1) Стратегия – это наивысший уровень внедрения более чистого производства.

2) Подход – характеризуется различными методами для устранения причин промышленного загрязнения.

В методологии БЧП принимается 7 основных подходов:

а) подход к обслуживанию – рассматривается материальная и энергетическая эффективность производства продукции; предполагается включение экологической составляющей в маркировку продукции;

б) подход к продуктовой цепочке – рассматриваются вопросы координации и кооперации в продуктовой цепочке; предполагается содействие и упрощение материального обмена между производителями на разных стадиях в продуктовой цепочке;

в) подход к продукту – рассматривается проектирование продукта и его использование с целью минимизации экологической нагрузки в течение всего жизненного цикла продукции;

г) материальный подход – рассматривается выбор основных и вспомогательных материалов, необходимых для производства и потребления продукции. Предполагается минимизация экологической нагрузки на ОС при производстве и потреблении продукции;

д) технологический подход – рассматривается управление технологическими процессами производства, продвижение на рынок, распределение и поставка продукта или услуги с целью минимизации экологической нагрузки, связанной с данными процессами;

е) подход к операционной деятельности – рассматриваются вопросы планирования, менеджмента и управления производственным процессом с точки зрения минимизации образования отходов;

ж) подход к вторичному использованию – рассматривается образование отходов и потери энергии; предполагается замыкание материального цикла производства или рециркуляция энергии и вторичное использование полезных материалов и энергетических составляющих внутри физических границ производства.

3) Практическая деятельность – разработка действий, предотвращающих загрязнения.

4) Мероприятия – определение отдельных источников и причин промышленного загрязнения и их устранение. К ним можно отнести

определенные альтернативные решения, исключая или, минимизируя нагрузку в отдельных процессах или продуктах.

5) Уровень осуществления действий - вносит существенные изменения в продукты или процессы и является практическим результатом внедрения более чистого производства.

Различают 3 типа БЧП:

1. совершенствование производства (внутреннего быта производства);

2. модификация производственных процессов;

3. новые технологии.

Совершенствование производства может включать в себя мониторинг потоков и производственных условий, проведение программ по совершенствованию техобслуживания (устранение утечек, дополнительная защита или изоляция и другие меры), меры по упорядочению организации хранения материальных запасов и ремонту оборудования. Общей чертой всех мероприятий является периодичность затрат и, как правило, быстрая окупаемость.

Модификация производственных процессов связана с определенными затратами (в виде человеческих ресурсов и времени). Примеры модификации: рециркуляция и повторное использование промывочной воды и растворителей. При модификации основной производственный процесс остается неизменным, но потоки материально-вещественных ресурсов и энергии оптимизируются.

Внедрение новых технологий БЧП всегда сопровождается первоначальными затратами. Наиболее выгодно внедрение БЧП для предприятий, производство которых связано с большими затратами энергии, воды и сырья, а также большими издержками в области удаления отходов и очистки стоков.

Технические действия БЧП могут быть:

– малозатратные (из собственных финансов);

– средnezатратные (внутреннее финансирование может быть достаточным, плюс Банковский кредит или Возобновляемый фонд и т.д.);

– дорогостоящие (обычно требуют внешнего финансирования в дополнении к собственному вкладу, банку).

Малозатратные действия также снижают отходы, их легко идентифицировать и всегда можно осуществить. Сэкономленные сред-

ства можно использовать для внедрения более дорогостоящих решений.

Примеры простых малозатратных действий:

- починка протекающих паропроводов и труб;
- выключение света, когда он не используется;
- выключение кранов, когда вода не используется;
- установление автоматических рычагов на водных шлангах.

Инициирование программ БЧП

Программа БЧП состоит из следующих этапов:

- 1) подготовительный;
- 2) экологический просмотр;
- 3) генерирование и оценка идей БЧП;
- 4) разработка и внедрение плана действий;
- 5) создание системы предотвращающей загрязнения на пред-

приятии.

Внедрение программ более чистого производства представлено на рисунке 5.

Инициатива реализации программы БЧП может принадлежать:

- руководству
- другим уровням управления
- рабочим

Вопросы, которые можно обсудить с руководством:

- снижение количества отходов и прямые экономические выгоды для предприятия;

- повышение производительности на предприятии;
- соответствие существующим экологическим нормам и стандар-

там;

- повышение качества продукции;
- улучшение условий труда на предприятии;
- снижение воздействия на ОС;
- снижение риска аварий и несчастных случаев;
- улучшение имиджа предприятия.

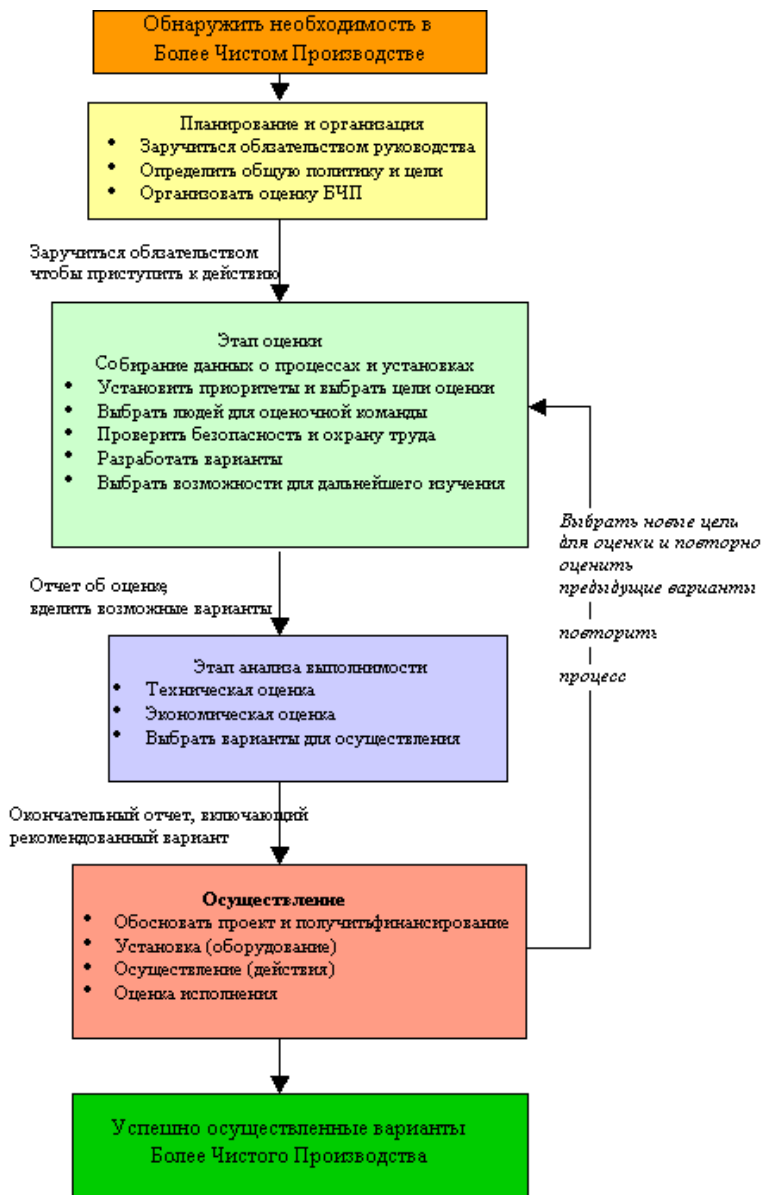


Рисунок 5 – Внедрение программ БЧП

Информирование о стратегии БЧП

Сообщение руководства о внедрении программы БЧП включает:

- причины для внедрения программы;
- предполагаемые действия;
- план вовлечения персонала;
- сроки внедрения мероприятий и список исполнителей.

Подготовка программы БЧП:

- выбор объекта;
- создание рабочей и управляющей программы проекта;
- разработка плана, определяющего технические, географические и временные рамки и содержащего основную информацию об объекте.

1) Выбор объекта желательно начинать с небольшого проекта на небольшом участке производственной линии или подразделения.

2) Создание рабочей и управляющей программы объекта представлено на рисунке 6.

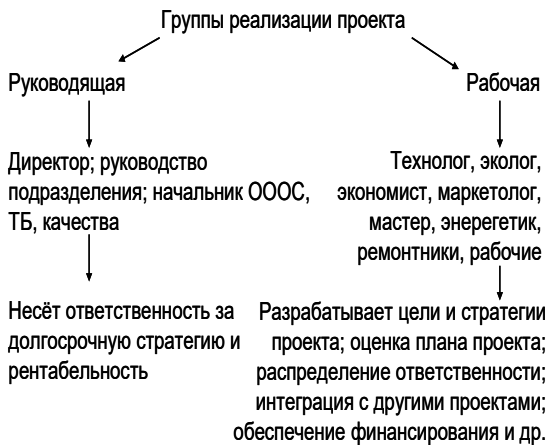


Рисунок 6 – Группы реализации проекта БЧП

Количество участников групп зависит от размера и сложности объекта (2-8 человек), однако формирование групп не исключает

участие других работников предприятия в программах БЧП. Иногда для проведения аудита привлекаются консультанты.

3) Разработка плана действий заключается в установлении целей и задач программы.

Экологический просмотр – является первым этапом внедрения программы БЧП

Предварительное изучение объекта включает сбор и анализ базовой информации о предприятии и составлении на её основе вопросников, используемых при посещении объекта.

Документы, отражающие деятельность предприятия:

1. Информация из официальных источников:

- отчеты об отходах;
- отчеты экологических экспертиз;
- разрешения и лицензии на использование определенных материалов;
- НПА и ТНПА, действующие в настоящее время в отношении предприятия;

- анализ и инвентаризация ТО, сбросов и выбросов;

- декларация о перевозке грузов;

2. Информация о производственных процессах и процедурах:

- диаграммы процессов;
- материальные и энергетические балансы процессов;
- инструкции и описание производственных процессов;
- описание оборудования и процедур материально-технического обеспечения;

- схемы трубопроводов и других коммуникаций на предприятии;

- планы размещения оборудования;

- карта обеспечения противопожарной безопасности;

- производственные графики.

3. Информация о продукции и сырье:

- инвентаризация закупок сырья, состав продукции и технологические отчеты производства;

- диаграммы и нормы расходов сырья;

- производственные процедуры.

4. Бухгалтерские документы:

- документация о переработке и ликвидации отходов и соответствующие расходы;

- выплаченные экологические налоги, сборы, пошлины и др.;
- стоимость единицы продукции, сырья, воды, энергии;
- эксплуатационные расходы;
- информация о чрезвычайных ситуациях, о ликвидации их последствий;
- ежегодные финансовые отчеты.

5. Другая информация:

- интервью с персоналом;
- экологическая политика предприятия;
- перечень ответственных лиц.

На основе полученной информации составляются вопросы.

Исходя из базовых данных необходимо определить приоритеты производственных процессов и отходов. В первую очередь планируют осмотр наиболее сложных или опасных участков производства.

На основе собранной информации рабочая группа разрабатывает детальный план по внедрению программы БЧП.

Мероприятия, которые должны быть проведены при детальной оценке:

- изучить интересующую деятельность в разные периоды времени для выявления всех потоков отходов и выбросов. Например, зачастую самым грязным процессом является мытье оборудования, происходящее в конце смены;
- отдельные этапы процесса могут проводиться иначе, чем в документации. Также могут быть проведены какие-либо изменения в оборудовании, о которых не сообщается ни в описании оборудования, ни в описании процесса;
- искать признаки, свидетельствующие о старых и новых проливах, утечках, неполадках в оборудовании;
- оценить общую чистоту рабочих мест;
- обратить внимание на испарение и запахи и постараться определить места их появления;
- опросить сотрудников, занимающихся материально-техническим обеспечением, ремонтом или наладкой оборудования;
- фотографировать;

- выявить степень координации между подразделениями, а также информированность персонала о работе по предотвращению загрязнения.

Необходимо помнить, что целью программы БЧП является предотвращение загрязнения, а не сбор данных. Следовательно, очень важно документировать и правильно организовать всю имеющуюся информацию, чтобы она была пригодна для дальнейшего анализа.

Основные действия по внедрению БЧП на предприятии:

1. Включение предотвращения загрязнений в общий план развития предприятия.
2. Введение системы отчета подразделений предприятия о производимых отходах, расходах на их переработку и ликвидацию.
3. Распределение ответственности за образование отходов.
4. Проверка состояния программы и сообщение о результатах.
5. Ежегодная оценка реализации программы.
6. Создание информационной системы или базы данных обо всех потоках отходов, их кол-ве и составе.
7. Подготовка программы обучения персонала предприятия при принятии сотрудников на работу, переквалификации руководителей.
8. Поддержка внутренних связей на предприятии.
9. Поощрение предложений работников по предотвращению загрязнения и внедрения этих предложений.
10. Мотивация и поощрение персонала за достигнутые успехи и активность во внедрении программы БЧП.
11. Распределение информации в обществе о работе предприятия по предотвращению загрязнения.

Тема 6. Оценка результатов программ более чистого производства

Когда источник и характер образующихся отходов известен, наступает творческая фаза работы команды. В ходе данного этапа необходимо выдвинуть и отобрать предложения по предотвращению загрязнения окружающей среды. Для стимуляции появления плодотворных идей можно проводить обсуждения в виде мозгового

штурма, а также использовать другие методы (ТРИЗ, SWOT-анализ, построение логической матрицы и т.д.).

Оценка идей БЧП проводится по техническим, экологическим и экономическим параметрам.

Критерии технической оценки:

- ведет ли внедрение к сокращению кол-ва отходов, к улучшению качества продукции
- есть ли у предприятия необходимые производственные площади
- нужны ли дополнительные человеческие ресурсы для внедрения предложений
- потребуется ли дополнительное обучение персонала
- необходим ли будет прием нового персонала со специальными знаниями
- существуют ли на предприятии условия, необходимые для работы нового оборудования
- потребует ли установка оборудования дополнительных капитальных вложений
- не приведет ли внедрение предложений к дополнительным или новым экологическим проблемам.

Экологическая оценка проводится посредством оценки жизненного цикла продукции (ОЖЦП), а также оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) всех возможных альтернатив сырья и процесса. Оценивается расход энергии, используемой в производственных процессах и при использовании продукции.

Очевидные экологические преимущества:

- снижение токсичности материала
- уменьшение объема используемых материалов

Экономическая оценка может быть как простой, так и требующей детального анализа.

Простой анализ – оценка срока окупаемости; полезен для обоснования инвестиций в БЧП, когда генерируется прибыль и инвестиции окупаются за 1-2 года.

При более длительной перспективе окупаемости инвестиций применяется анализ капитальных вложений, который принимает во внимание динамику капитальных вложений во времени.

Когда не ожидается значительной прибыли производится анализ влияния микроэкономических факторов.

Когда внедрение предложений БЧП не приносит прямой прибыли, но приводит к значительному снижению вреда, наносимого здоровью человека и ОС на местном и региональном уровне, используется анализ прибыли и издержек.

Отчет о результатах оценки возможностей внедрения подхода БЧП составляет его рабочая группа. Отчет служит:

- планом внедрения предложений;
- основой для оценки прогресса программы БЧП;
- обоснованием инвестиций в предотвращение загрязнений.

Кроме трех видов оценки отчет содержит сроки выполнения предложений, ресурсы, необходимые для реализации предложений, мероприятия по оценке реализации предложений и его последствий.

На следующем этапе необходимо разработать комплекс показателей, дающих точную оценку произошедших изменений после внедрения программы БЧП. Показатели прогресса программы БЧП должны быть:

- количественными;
- точно отображать процесс и изменения в нем;
- легко измеримыми (условия измерения показателей для различных периодов времени или различных подразделений предприятия должны быть одинаковы);
- показатели должны быть измеримы до начала проекта БЧП.

Тема 7. Методы более чистого производства для энергосбережения

Существует три основных направления энергосбережения:

1. полезное использование (утилизация) энергетических потерь (использование «тепловых отходов» промышленного производства, например, использование для обогрева теплиц);

2. модернизация оборудования с целью уменьшения потерь энергии (уменьшение потерь энергии в уже действующем оборудовании не изменяя сами принципы технологии и техники; пример - установка систем автоматического регулирования процессов горения на котлах электростанций);

3. интенсивное энергосбережение (полная реконструкция оборудования и введение новых принципов его работы, существенно сокращающих потребление энергии; пример – замена двигателей внутреннего сгорания в автомобилях на электродвигатели).

Основными потребителями энергии на производстве является оборудование производящее пар (горелки, котлы, линии распределения пара, ловушки пара, системы регенерации конденсата, сушилки и выпариватели, холодильники, теплообменники, электро-механическое оборудование и электроосветительное оборудование).

Оборудование, имеющее значительный потенциал более экономного использования:

- Тепловая энергия (бойлеры, печи, сушилки, установки для отпаривания, теплообменники, нагревательные приборы и системы конденсации и парообразования)

- Электроэнергия (насосы, компрессоры, холодильное оборудование и кондиционеры, осветительные системы, вентиляционные системы, механическое оборудование)

Тепловая энергия теряется в процессе образования, распределения и использования этой энергии.

На стадии образования энергии надо обратить внимание на эффективность горения, в котором химическая энергия топлива преобразуется в тепловую. На стадии распределения и регенерации важна эффективная изоляция. Эффективное использование зависит от оборудования и характера его эксплуатации.

Меры, направленные на повышение эффективности функционирования систем производства пара (для повышения эффективности работы котлов):

- регулярный осмотр котлов и горелок, наладка процесса горения и удаление накипи;

- предварительный подогрев топлива перед сжиганием его в горелке;

- установка автоматической задвижки, канала выхлопных газов, работающей в режиме оптимального горения топлива;

- анализ состава выхлопных газов для автоматической коррекции состава горючей смеси;

- установка теплообменника для предварительного подогрева подпиточной воды и воздуха;

- использование параллельно-работающих котлов меньшей мощности;
- выключение циркуляционного насоса, теплой воды, когда бойлер не работает;
- использование подпиточной воды лучшего качества для уменьшения потребности в очистке труб от накипи.

Для сокращения потерь тепловой энергии на стадии распределения пара необходимо:

1. осуществлять регулярный осмотр паровых линий на предмет утечек и производить их ремонт;
2. проводить осмотр всех неизолированных мест на линиях паропроводов;
3. проверять температуру поверхностей изолированных труб для определения мест плохой изоляции;
4. оптимизировать изоляцию, то есть толщина изоляции зависящей от типа используемого изоляционного материала и разницы между температурой окружающей среды и продукта распределения энергии. Линии необходимо защищать от ветра и воды;
5. следует избегать избыточных трубопроводов и располагать оборудование как можно ближе к основным линиям распределения пара;
6. оборудование, которое временно не работает должно быть отключено от подачи пара. Желательно чтобы перекрытие подачи пара было как можно ближе к главному трубопроводу. Оптимальное решение – автоматизация самой системы;
7. исследовать возможность использования более низкого рабочего давления (уменьшение энергозатрат, стоимости оборудования и ремонта);
8. снизить температуру в емкостях хранения материала и продуктов до наименьших приемлемых значений;
9. документировать систему распределения для отслеживания изменений;
10. максимально использовать пар на всех уровнях давления. Не рекомендуется снижать высокое давление пара с помощью контрольных клапанов и выпускать пар под низким давлением;
11. увеличить вторичное использование конденсата;

12. рассчитывать потери, связанные с утечками пара и нерационального использования тепла;

13. проводить мониторинг количества пара, используемого для определенного объема продукции и сравнивать данные с проектными. Результаты опубликовать внутри предприятия.

При вторичном использовании конденсата необходимо обратить внимание на следующие аспекты:

1. изоляция линий конденсата (температура на момент возвращения в систему должна быть примерно 70-900 С);

2. объем возвращенного конденсата (при непрерывном использовании пара больше 90 %);

3. изоляция и опечатывание танка вторичного использования конденсата;

4. наличие утечек.

Мероприятия по вторичному использованию конденсата:

1. Замена барометрических конденсаторов на поверхностные.

2. Применения мгновенного испарения конденсата для производства пара нужного давления.

3. Использование конденсата как непитьевой теплой воды.

4. Если ранее конденсат выпускали в канализацию - рассмотреть возможность его возврата в систему.

5. Проанализировать возможность использования брызгового пара для нагревания до невысоких температур.

Улавливатели пара предназначены для удаления конденсата с линий парораспределений. Их исправность можно проверить, измеряя температуру на каждой стороне.

Мероприятия:

1. проверять, соответствует ли величина ловушек мощности их нагрузок;

2. выключать ловушки на линиях перегретого пара, когда они не используются;

3. установить регулярный контроль над качеством работы пароулавливателей.

Мероприятия для повышения эффективности теплообмена в теплообменном оборудовании включают:

1. проверку эффективности теплопередачи в теплообменниках, измеряя температуру входящих и выходящих продуктов;

2. наладку скорости потока продуктов на оптимальный теплообмен; увеличивая число теплообменных установок, если это необходимо;

3. использование специальных средства против накипи, проведение регулярных осмотров бойлеров и печей и осуществление профилактических мероприятий.

Сушка и выпаривание

До начала процесса сушки необходимо произвести механическое удаление влаги. Для этого используют: фильтры, центрифуги, ленточный пресс и другие методы.

Хотя механическое удаление влаги более эффективно с точки зрения экономии энергии, оно не может полностью заменить процесс сушки.

Для повышения эффективности использования энергии необходимо комбинировать механическую и термическую сушку.

Следует обратить внимание на температуру входящих и выходящих материалов. На входе в сушилку температура материала должна быть как можно ближе к температуре выпаривания. Температура на выходе должна быть максимально низкой.

Если источник тепла – пар, то температура на выходе $t^{\circ}_{\text{вых}} = t^{\circ}_{\text{конд.пара}} = 100^{\circ} \text{C}$.

Если источник тепла горячий воздух, то температура на выходе $t^{\circ}_{\text{вых}} = 130 - 150^{\circ} \text{C}$.

Более высокая температура на выходе показывает, что можно уменьшить количество подаваемой энергии или регенерировать её путём теплообмена для использования в другой части процесса.

При установке испарителей следует проанализировать возможность последовательного соединения нескольких установок выпаривания с разными уровнями температур.

Принцип действия такой установки – испарение высокой температуры; образующейся на одной стадии выпаривания используется затем в качестве источника тепла на следующей стадии.

Противоточный метод движения материалов и теплоносителей является более эффективным, однако применяются параллельные и смешанные потоки.

Очень эффективна сушка с использованием теплового насоса. Она осуществляется в закрытой системе и препятствует распространению запахов. В связи с этим она применяется на большинстве предприятий в химической и пищевой промышленности.

Также возможна воздушная (солнечная) сушка. Но она не всегда возможна и подходит только для продуктов с низким содержанием влаги.

Горячие ванны

Необходимо применять изоляцию, если разница между температурой производственного объекта и ОС больше 20 оС. При разнице температуры от 10 до 20 оС достаточно использовать изоляцию во время нерабочих часов.

Нагревание, охлаждение, вентиляция

Существует 2 основных фактора, влияющих на работу данных систем: их конструкция и эксплуатация. Основные принципы более экономичного использования энергии в данных областях:

1. Избегать необходимости в нагревании. Пример: отопление неиспользуемых помещений. Использовать регенерированное тепло либо тепло низкого качества (Солнце). Избегать нагревания с использованием электричества и максимально сократить потери тепла с помощью изоляции.

2. Избегать необходимости в охлаждении. Пример: окна с защитой от попаданий солнечных лучей, использовать охлаждение низкого качества (воздухом), сократить потери холода.

3. Избегать необходимости в вентиляции (использовать вентиляционную систему).

4. Влияние солнечного тепла на здания может быть значительно снижено с помощью зеленых насаждений вблизи стен и окон. Можно использовать внешнюю изоляцию.

Причины нежелательных потерь тепла: окна, двери и вентиляционные отверстия.

Для сокращения этих потерь необходимо:

- отключать или снижать интенсивность отопления, когда в помещении никого нет. Аналогично – вентиляция.

- использовать изоляцию окон

- установить воздухонепроницаемые двери и окна

- избегать слишком больших окон и т.д.

Необходима проверка соответствия мощности электродвигателей их реальной средней нагрузке. Также необходимо оптимизировать эффективность приводов, которую можно повысить, используя плоские ремни, синхронные ремни и шестеренные приводы.

Большое значение имеет натянутость ременных приводов, поэтому:

1. необходимо использовать двигатели с изменяющимися скоростями;
2. регулярно осматривать и смазывать оси двигателей и все движущиеся части механических приводов;
3. улучшить контакты между проводниками тока для уменьшения сопротивления;
4. поддерживать низкий реактивный сопротивление в электродвигателях путем расчета и установки дополнительных компенсирующих конденсаторов.

При использовании насосов необходимо:

- отключать неиспользуемые;
- контролировать скорость работы насоса;
- контролировать и заменять неисправные лопастные колеса в центробежных насосах;
- использовать небольшие насосы;
- устанавливать насос вблизи источников всасываемой жидкости с целью избегания протяженных всасывающих линий;
- не допускать изгибов насоса на месте выхода стоков.

Компрессоры представляют собой устройства, которые поглощают газ и сжимают его до небольшого объема. Эффективность их работы низкая, так как от 70 до 90 % электроэнергии теряется в виде тепла.

Необходимо:

- периодически проверять наличие потерь давления сжатого воздуха в линиях передачи;
- обнаруженные утечки устранять;
- использовать максимально холодный воздух для работы компрессора;
- фильтровать атмосферный воздух, предназначенный для работы компрессоров;
- регулировать величину рабочего давления;

- компрессор должен быть расположен как можно ближе к месту использования;

- использовать вторичное тепло от компрессора для обогрева помещений и свежего воздуха в системе вентиляции;

- отключать неиспользуемые части системы и закрывать все неизолированные линии передачи сжатого воздуха, отключать оборудование в нерабочее время;

- использовать емкость для хранения сжатого воздуха.

Меры по повышению эффективности использования энергии в процессе замораживания и охлаждения:

1. замена фреона на альтернативный/аналогичный или абсорбционный охладитель, уменьшать его количество или модифицировать систему для работы при более низком давлении;

2. изоляция линий по распределению охлаждающего вещества, автоматические двери холодильника;

3. рабочая температура не должна быть ниже требуемой;

4. когда температура охлажденного воздуха близка к 0, лучше использовать охлаждающие башни;

5. зимой вместо системы охлаждения использовать вентилятор;

6. использовать возможность предварительного охлаждения воздухом и водой;

7. чистить охлаждающие катушки, содержать в чистоте рабочие части, сократить время горения лампочек в холодильнике.

Освещение:

1. Направлять освещение туда, где оно необходимо.

2. Располагать источники ближе к пользователю.

3. Применять плафоны, открывающие источники света.

4. Держать в чистоте поверхность осветительных приборов.

5. Установить отражатели света, регуляторы яркости, фотоэлементы, таймеры, сенсоры использования освещения.

6. пересмотреть потребность в освещении помещений, не связанных с производством и не требующих высококачественного освещения.

7. люминесцентные лампы более эффективны, чем лампы накаливания. Существуют альтернативные лампы накаливания, вольфрам-галогеновые, рефлекторные и другие.

Меры повышения эффективности энергопотребления в транспортном хозяйстве предприятия:

- 1) более полная загрузка автомашин
- 2) компактное размещение груза
- 3) уменьшение простоев транспорта
- 4) снижение процентного возврата порожнего транспорта
- 5) введение системы доставки по необходимости
- 6) разработка оптимальных маршрутов (транспортная логистика)
- 7) наладка двигателей на оптимальное сжигание топлива
- 8) своевременная проверка технического состояния транспорта
- 9) использование электрического транспорта

Систематизированный подход к методу более экономного потребления (технология тисков).

Целью этой технологии является оптимизация всей теплосистемы путем отслеживания разницы температур потоков во время процесса.

Основные пути использования источников тепла и холода, участвующих в процессе, следующие:

- самые мощные источники тепла необходимо использовать для нагрева материалов, требующих нагревания до более высоких температур

- температура источника нагревания должна соответствовать требованиям нагревания и охлаждения. Если требуемая температура выше, то источник не пригоден к использованию

- если температура соответствует качественным требованиям, то необходимо добиться количественного соответствия

Тема 8. Использование более чистых технологий для экономии воды

Существует 2 проблемы:

- 1) для производственных процессов необходим большой объем воды
 - 2) высокие требования к качеству воды
- Вода, используемая в контактных процессах

Мероприятия:

- 1) устранение производственного процесса
- 2) прекращение использования воды (может заменить воду на сухое смазочное вещество или воздух, находящийся под давлением)
- 3) сокращение потребителей воды
- 4) переработка или вторичное использование воды
- 5) использование воды, оставшейся после других процессов

Необходимо использовать воду высокого качества для работы с высококачественными продуктами и воду низкого качества для мытья, промывки, развлечения и т.д.

В производственном процессе вода, использованная на одном этапе, в дальнейшем может быть использована ещё раз на более раннем этапе – «противоток».

Использование воды для мойки:

- 1) повторно использовать воду 4-6 раз
- 2) обеспечить однородность материала, подвергаемого мойке; для густого шлама использовать смешивание
- 3) рассмотреть возможность мытья теплой или горячей водой, используя регенерированное тепло
- 4) использовать эффективные распылители для равномерного распределения воды по поверхности материала
- 5) установить автоматический контроль над расходом воды с использованием таймера
- 6) контролировать скорость потока для избегания её повышения
- 7) обеспечить наличие брызговиков и крышек на ёмкости
- 8) использовать оборудование, которое может работать с более высокой концентрацией веществ

Рециркуляция и вторичное использование технологической воды

Чтобы это было возможно необходимо использовать различные технологии очистки воды от фильтров до мембран для извлечения из неё загрязняющих веществ.

Важно не смешивать в 1 поток различные сточные воды.

Например, смешение бытовых сточных вод со стоками гальванического цеха увеличивает N воды, требующей трудоёмкой и дорогостоящей очистки воды от тяжелых металлов.

Вода, используемая в неконтактных процессах

Охлаждающая вода

1) избегать перегрева воды, использовать охлаждающие и нагревающие источники, имеющиеся внутри самого процесса

2) использовать для охлаждения воздух

3) использовать охлаждающую воду многократно в закрытой системе со стояком водяного охлаждения, в котором вода распыляется при усиленном притоке воздуха. Процесс ведет к частичному испарению воды, к тому же периодически воду в системе надо очищать или менять. Система позволяет сэкономить до 95% воды по сравнению с однократным использованием, но требует дополнительных инвестиций.

4) Рециркулировать охлаждающую воду, используя её для мытья, подпитки бойлеров и других нужд

5) Не использовать воду более высокого качества, чем это необходимо

Эффективное улавливание конденсата и предотвращение утечек пара позволяют не только сэкономить воду и энергию, но и уменьшить дополнительное потребление воды для бойлеров до 10%, а также сократить расходы на её очистку.

Мойка

Мойку можно избежать используя:

1) меры рационального хозяйствования

2) определенную последовательность процесса или составления расписания промывки

3) проектирование оборудования таким образом, который облегчает мойку (отсутствие резких изгибов, нелипкая облицовка и др.)

4) не стремиться к чрезмерной чистоте

Очередность очистки

Очистка проходит в 2 этапа:

1 этап – механическая очистка (щетки, скребки)

2 этап – энергетическая очистка (пневматическая очистка воздушной струёй), вакуумная очистка, ультразвуковая очистка, струёй пара.

- химическая очистка (химикаты, щелочи, моющие средства)

- электрохимическая очистка

- водная (горячая вода – термическая, холодная вода – растворители, вытеснение)

Эффективное применение воды возможно, используя распределение воды через сопло и путём проведения выборочной очистки.

Вода, используемая в непроизводственных процессах

Обращать внимание на:

1) количество и исправность кранов, оборудования, душевых и туалетов, посудомоечных машин, шлангов, а также оборудования, позволяющего регулировать подачу воды. Установка автоматических регуляторов требует дополнительных затрат, но позволяет экономить воду впоследствии.

2) Режим работы, позволяющий экономить воду

Тема 9. Использование более чистых технологий для сбережения сырья и материалов

Сырьевая система включает:

- сырьё и его подготовку
- основной производственный процесс
- побочные процессы
- окончательную обработку продукта
- основной продукт
- упаковка

Причины образования отходов в промышленности:

- 1) использование загрязняющего сырья
- 2) неполная обработка исходных материалов
- 3) особенности процесса
- 4) неоптимальные производственные условия
- 5) непродуманный дизайн оборудования (испарение растворителей из открытой емкости для хранения)
- 6) неэффективность управления процессом окончательной обработки и упаковки продукции

Проблемы сырья:

- 1) Качество (возможность замены на более чистое)
- 2) Количество (возможность сокращения количества)
- 3) Предварительная обработка с целью извлечения загрязняющих веществ в начале производственного процесса

4) Замена опасных веществ (органические растворители на водосодержащие)

5) Использование отходов в качестве сырья

6) Управление запасами сырья и материала (условия хранения, сроки и т.д.)

Основной производственный процесс – провести начальный анализ процесса для определения источников образования отходов. Обращение к первоначальной причине появления отходов более рационально, чем их последующая переработка. Чтобы повысить уровни переработки сырья необходимо проверить следующие этапы в производственном процессе:

1) Контроль и мониторинг процесса: неоптимальные условия производственного процесса могут привести к низкой производительности или к высокому уровню брака. Необходимо проверить соответствие существующих и рекомендуемых условий (давление, температура, продолжительность обработки, концепция и др. и выяснить причины отклонений)

2) Схема процесса может помочь в минимизации потерь. Например, во время мойки между этапами процесса

3) Этапы процесса: иногда можно сократить число этапов, избежать обработки, большого количества деталей, чем необходимо при окраске, смазке и т.д.

4) Последовательность процесса

5) Количество запусков: избегать большого количества запусков и остановок, т.к. в это время увеличивается количество отходов и потребление энергии

6) Назначение оборудования: использование одного вида оборудования для одного вида продукции или для одной производственной линии можно сократить потребность в мойке и уменьшить возможность перекрестного загрязнения

7) Соблюдение эксплуатационного режима

8) Извлечение загрязняющих веществ на ранних стадиях процесса

Основные подходы к повторному использованию

1. Повторное использование растворов и веществ

2. Замкнутый цикл

3. Рециркуляция

Проблемы, связанные с оборудованием:

- несоответствие оборудования выполняемым функциям
- коэффициент производительности (должен быть максимальным)
- устаревшее оборудование
- система трубопроводов и её соответствие производственному процессу
- конструкции, вызывающие загрязнение ОС
- выбор оборудования
- совмещенные (многоэтапные) операции (мойка, сушка)
- качественное и своевременное обслуживание
- периодичность технического обслуживания
- план действий на случай ЧС

Окончательная обработка продукции

1. Мойка
2. Отделка
3. Выпаривание (производство каустической соды и сахара)
4. Сушка
5. Фильтрация и отделение

Мероприятия:

1. устранение этапа окончательной обработки путём усовершенствование основного процесса
2. сокращение количества этапов окончательной обработки
3. извлечение сырья из промывочных вод
4. уменьшение количества обрезков
5. сокращение потерь при выпаривании, использование на испарителях туманоуловителей для улавливания капель жидкости (полное изменение процесса)
6. сокращение потерь при сушке на выходе установить циклон для улавливания переносимого вещества
7. извлечение отходов после фильтрации

Тема 10. Использование методов более чистых технологий для летучих органических соединений

Термин летучие органические соединения (ЛОС) используется для обозначения ряда органических соединений, испаряющихся в атмосферный воздух.

В глобальном масштабе крупнейшим антропогенным источником неметановых ЛОС является транспорт. Второе место занимают соединения, которые широко используются в промышленных целях для печати, упаковки, ремонта транспортных средств, промышленной и коммерческой очистки, производства металла, сварочных и лакокрасочных работ, в химической и деревообрабатывающей промышленности.

Применение методов чистых технологий в сфере ЛОС подчиняется следующей иерархии:

- Максимальное снижение использования растворителей. Например, не надо проводить дополнительную очистку продукции растворителем, если на выходе она и так соответствует всем требованиям;
- Использование материалов и технологических процессов, не требующих применения растворителей;
- Использование альтернативных растворителей и технологических процессов, в результате которых, уровень выбросов снижается.

Основные принципы правильного обращения с растворителями: Будьте аккуратны при использовании растворителей и не допускайте их испарения (закрывайте контейнеры и баки крышками, храните их в прохладном месте, избегайте наклонов и так далее).

Многие растворители очень токсичны, поэтому необходимо соблюдать особые меры предосторожности:

- Правильное и безопасное хранение: храните на рабочем месте только те вещества, с которыми вы сейчас работаете и соблюдайте при этом меры безопасности (не кладите сосуды в такие места, где они могут легко перевернуться, храните их подальше от источников тепла и электричества, обязательно указывайте на емкостях название их содержимого и так далее). Те вещества, которые вы на данный момент не используете, должны храниться в специально отведенном для них месте;

- **Безопасное уничтожение:** использованные растворители должны уничтожаться с соблюдением всех правил. До утилизации разные растворители должны храниться в разных местах (например, хлорсодержащие отдельно от растворителей не содержащих хлор). Это поможет в процессе дальнейшего уничтожения и/или вторичного использования. Не игнорируйте возможность рециркуляции/вторичного использования растворителя;

- **Обучение:** обученный персонал будет более рационально использовать растворители, обеспечит их безопасное хранение и утилизацию.

Очистка поверхности и обезжиривание Общие рекомендации для уменьшения количества используемых растворителей:

- Проведите оценку необходимости в очистке растворителями для каждого определенного процесса и по возможности сократите ее.

- Можно снизить потребность в очистке или полностью избежать ее, если использовать альтернативные производственные методы, например, в процессе пайки можно использовать флюсы с низким содержанием твердых веществ, или поместить паяльный агрегат в неокислородную среду (инертная атмосферная пайка).

- Очистке растворителями должна предшествовать механическая очистка

Строгий инвентарный контроль за количеством используемых растворителей поможет снизить их расход.

Во многих случаях в качестве средства очистки может использоваться обыкновенная вода. Для повышения эффективности такой очистки можно:

- Подогревать воду;
- Добавлять мыло и моющие средства;
- Применять турбулентное и ультразвуковое размешивание;
- Использовать водные растворы кислот и щелочей.

Вещества, содержащие растворители должны применяться только там, где в этом есть необходимость. Следует избегать использования растворителей, содержащих галогены (например, трихлорэтилен, 111-трихлорэтан, тетрахлорид углерода, хлороформ, метилхлорид), а также ароматические вещества (например, бензол).

Использование испаряющихся чистящих средств в абсолютно замкнутом пространстве фактически исключает выбросы в атмосферу. Поэтому после окончания процесса очистки необходимо сначала уловить и очистить пары растворителя, и только после этого можно открыть камеру и вынести очищенный предмет, не содержащий остатков растворителя. При использовании традиционной системы испарения энергозатраты выше, а цикл очистки занимают больше времени по причине сменяющихся друг друга стадий нагревания и охлаждения. Для нетрадиционной системы требуются большие начальные вложения, но они окупаются экономичным потреблением растворителей. Сверхкритические жидкости, например, CO₂ в некоторых случаях являются хорошим растворителем.

Зачистка Зачистка часто является первым шагом в процессе переработки бракованной продукции. Очевидно, что потребность в зачистке может быть снижена путем сокращения количества бракованных изделий. Химическую зачистку, часто с использованием хлорсодержащих растворителей, можно заменить на:

- Абразивное дутье. Замена традиционного материала для дутья (такого, как стекло и сталь) на экологически чистые материалы (пшеничный крахмал, гранулы CO₂, пластик) может иметь дополнительные преимущества, например, биологически разлагающиеся отходы, повышение безопасности труда и снижение вреда, наносимого здоровью рабочих;

- Зачистку органическими растворителями вместо хлоросодержащих. Это снижает или исключает выбросы ЛОС, которые происходят при использовании хлоросодержащих растворителей;

- Зачистку водой под высоким давлением (этот метод предполагает использование механической энергии и распыление потока воды под высоким давлением);

- Зачистку теплом или, наоборот, холодом.

Необходимо внимательно изучить имеющиеся альтернативные методы, потому что иногда свойства используемых материалов и особенности технологических процессов требуют специфических способов зачистки.

Окраска. Уменьшить количество используемых ЛОС при окраске можно следующими путями:

- Отказ от покраски и нанесения какого-либо покрытия, если это возможно. В электронной промышленности, например, вместо окрашенных металлических шкафов используются аналоги из дутого пластика;

- Сокращение необходимого/расходуемого количества материалов путем рационализации процесса,

- стандартизации цвета и оптимального использования красящего вещества;

- Использование высокоэффективного оборудования сокращает количество расходуемой краски, а следовательно и выбросов ЛОС;

- Хорошо обученные операторы сократят потери красок и уменьшат количество бракованных изделий;

- Применение растворителей, уже однажды использованных для очистки, повторно для разжижения краски;

Использование новых красящих материалов:

- Краски на водной основе не только содержат небольшое количество растворителя (от 5 до 15%, в то время как в красках на основе растворителей эта цифра достигает 40-50%), но и не требуют применения растворителя для разжижения и очистки;

- Краски, содержащие высокотвердые растворители, применяются в вакуумных трубах под высоким давлением, которые можно нагреть, чтобы снизить вязкость краски;

- Порошковое покрытие состоит из сухой резины и красящего вещества, измельченного в порошок, которое наносится электростатически или с помощью паяльной лампы;

- Резина, отвердевающая под воздействием ультрафиолетовых лучей, имеет органическую природу, обуславливающую полимеризацию и отвердевание под воздействием ультрафиолетовых лучей.

Печатная промышленность.

Помимо растворителей, применяемых для очистки и обезжиривания, к выбросам ЛОС приводит использование чернил на основе растворителей, применяемых в печатной промышленности. Уменьшить количество используемых чернил можно путем:

- Установки замкнутой системы промывки для создания изображения и печатных форм;
 - Внедрения более эффективных методов хозяйствования (например, планирование рабочего процесса в соответствии с воз-растанием темного цвета чернил, использование крышек для резервуаров, использование протирочного материала в течение макси-мально длительного времени и так далее);
 - Использование чернил многократно.
- К снижению воздействия, оказываемого на окружающую среду, также ведет:
- Использование чернил на растительной, водной или на сме-шанной (масляной/растительной) основе.
 - Разделение растворителей позволит их вторичное использо-вание, например, для очистки оборудования или разжижения чер-нил.
 - В процессах печатного пресса (например, переплет) замены клея на основе растворителя клеем на водной основе или клеем, ко-торый плавится под воздействием высоких температур, или же ис-пользуйте механический способ переплета.

Тема 11. Методы управления более чистым производством

Концепция предупреждения образования отходов в источнике развивается с 70-ых годов XX века. Доказав свою эффективность сперва в США а потом в других экономически высокоразвитых странах она стала привлекательной для всего мирового сообщества.

В 1989 Программа ООН по Окружающей Среде (UNEP) утвер-дила свою программу Более Чистого Производства с целью преду-преждения загрязнения в источнике и более эффективного управле-ния сырьем (включая энергию и воду). В 1992 году на Мировом Саммите по развитию в Рио де Жанейро Более Чистое Производ-ство было включено в «Повести дня XXI» - основным документом саммита, как наиболее приемлемая стратегия сочетания потребно-стей охраны окружающей среды с экономическим развитием в со-ответствии с принципами устойчивого развития общества.

В октябре 1998 года UNEP принимает Международную Декларацию о Более Чистом Производстве.

Хотя это юридически необязательный документ, государства подписавшие его, понимая важность обеспечения гармонического развития экономики в соответствии с законами природы, принимают все более масштабные меры по расширению и углублению внедрения принципов Более Чистого производства в развитии промышленности в соответствии с принципами Декларации. Государства принимают свои национальные Декларации о Более Чистом Производстве на основе Международной Декларации.

Международная Декларация Более Чистого Производства

Мы признаем, что достижение устойчивого развития является коллективной ответственностью.

Действия по защите окружающей среды должны включать осуществление устойчивого производства и потребления.

Мы верим в то, что Более Чистое Производство и другие предотвращающие стратегии, такие как Эко-эффективность, Зеленая Производительность и Предотвращение Загрязнения являются приоритетными. Они требуют развития поддержки и внедрения соответствующих мер. Мы понимаем, что Более Чистое Производство это непрерывное применение интегрированной, предотвращающей стратегии, используемой в отношении процесса, товаров и услуг в поисках экономических, социальных, здравоохранительных и экологических выгод, а также в целях безопасности.

Поэтому мы обязуемся осуществлять:

Используя наше влияние Руководство

- для поощрения принятия практикой устойчивого производства и потребления путем развития отношений со всеми заинтересованными сторонами.

Создание компетенции Повышение сознательности и обучение

- развитие и повышение сознательности, проведение обучающих и тренировочных программ в наших организациях;
- поощрение включения концепции и принципов в образовательные планы на всех уровнях.

Поощрение интеграции предотвращающих стратегий Интеграцию

- во все уровни организаций;

- в контексте системы экологического управления;
- использование таких методов как оценка экологической деятельности, экологическая финансовая отчетность, анализ экологического воздействия, анализ жизненного цикла и оценка потенциала Более Чистого Производства.

Создание инновационных решений Исследование и Развитие

- поощрение перехода от стратегий конца трубы к предотвращающим стратегиям в исследованиях и при разработке направлений политики и деятельности;
- поддержкой развития эко-эффективных товаров и услуг, соответствующих требованиям потребителей.

Распространение и обмен опытом Распространение информации

- поощрение диалога по внедрению предотвращающих стратегий и передачи информации внешним заинтересованным сторонам с выгодой для них.

Осуществление Более Чистого Производства Внедрение

- постановкой задач и регулярным отчетом о прогрессе путем введения системы экологического управления;
- поощрение новых и дополнительных инвестиций в предотвращающие технологии, поощряя взаимодействие и передачу экологически эффективных технологий между странами;
- путем взаимодействия с ЮНЕП и другими партнерами и заинтересованными сторонами для поддержки этой декларации и оценки успеха ее внедрения.

Тема 12. Экологический менеджмент и более чистое производство.

Традиционно сложилось, что действия по охране окружающей среды имеют гораздо меньший по сравнению с производственной деятельностью приоритету руководства предприятия. Довольно часто природоохранная деятельность ограничивается подходом «конца трубы», который подразумевает очистку отходящих газов или сточных вод. Во многих случаях такой подход способен обеспечить формальное соответствие нормативным требованиям, однако влечет за собой большие затраты.

Наиболее значимая составляющая экономической эффективности природоохранной деятельности, усиливающаяся с внедрением СМОС на предприятиях, связана с применением подхода предотвращения загрязнения.

Методы предотвращения загрязнения нередко оказываются чрезвычайно результативными и экономически эффективными. Это относится и к методам, связанным с изменением технологических решений (требующим значительных затрат), но в первую очередь — к организационным подходам, связанным с контролем процесса производства, выбором сырьевых материалов, вторичным использованием или переработкой материалов, логистикой производства и т.п. Именно эти методы становятся основным инструментом СМОС по снижению воздействия на окружающую среду.

Таким образом, актуальной является задача эффективно организовать природоохранную деятельность предприятия, в которой поиск и применение подходов предотвращения загрязнения принимает регулярный и систематический характер, а организационные и управленческие решения реализуются наиболее успешно.

Одним из эффективных подходов в организации природоохранной деятельности предприятия является применение комплексных природоохранных разрешений (КПР).

Традиционно, регулирование воздействия предприятий на окружающую среду, а также его предотвращение, ведется по отдельным компонентам природной среды. До 1 января 2012 года в Республике Беларусь действовала только система выдачи природоохранных разрешений на специальное водопользование, выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, хранение и захоронение отходов производства. Оформление таких разрешений осуществлялось на основании нормативов допустимого воздействия на окружающую среду, устанавливаемых природопользователю в процессе его хозяйственной деятельности: допустимых выбросов и сбросов химических и иных веществ; образования и размещения отходов производства; допустимых физических воздействий; допустимого изъятия природных ресурсов; допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Однако такой подход не учитывает вероятность перемещения загрязнения из одного компонента среды в другую, не включает

оценку эффективности энергопотребления, использования водных ресурсов, сырья и материалов, не рассматривает готовность предприятий к аварийным ситуациям, в результате чего не обеспечивается комплексное решение проблем по охране окружающей среды.

Внедрение системы КПП ориентировано на то, что разрешение будет выдано только после того как предприятием сформулированы комплексные природоохранные мероприятия для одновременной охраны атмосферного воздуха, водных и земельных ресурсов, рационального использования природных и энергетических ресурсов.

Впервые подобный подход был применен в странах ЕС. Процедура выдачи разрешений на право хозяйственной деятельности с учетом модели технологического нормирования в странах ЕС была законодательно закреплена Директивой о комплексном предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды в вопросах регулирования экологически неблагоприятного воздействия производств (91/61 ЕС), которая в настоящее время заменена кодифицированной версией - Директивой Европейского парламента и Совета ЕС 2008/1/ЕС от 15 января 2008 г. «О комплексном предупреждении и контроле загрязнений» (2008/1/ЕС).

Одним из важнейших требований директивы является внедрение наилучших доступных технических методов (НДТМ).

НДТМ – технологические процессы, методы, порядок организации производства продукции и энергии, выполнения работ или оказания услуг, проектирования, строительства и эксплуатации сооружений и оборудования, обеспечивающие уменьшение и (или) предотвращение поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, образования и (или) размещения отходов производства, по сравнению с применяемыми и являющиеся наиболее эффективными для обеспечения нормативов качества окружающей среды при условии экономической целесообразности и технической возможности их применения.

Для определения НДТМ в какой-либо отрасли ЕС разработал исходные документы и инструкции (BRIF), которые определяют, какая технология должна использоваться в той или иной области. Разумеется, это обуславливает для предприятий большие расходы и инвестиции в новую технику, но в то же время дает им возможность ознакомиться с рекомендациями при модернизации в своей отрасли

промышленности. Европейские справочники по НДТМ не имеют статуса предписаний, в них не устанавливаются предельные значения выбросов, сбросов, лимитов образования отходов для определенного промышленного сектора. Очевидно, что представления о наилучших доступных технических методах для конкретного производства будут со временем претерпевать изменения под воздействием технического прогресса, экономических и социальных факторов, а также в свете изменений в научных знаниях и понимании проблем.

На сегодняшний день разработано 33 справочных руководства по НДТМ для различных отраслей промышленности.

В Республике Беларусь разработана «Национальная стратегия внедрения комплексных природоохранных разрешений на 2009-2020 гг.». Согласно данной стратегии, комплексное природоохранное разрешение представляет собой документ, выдаваемый специально уполномоченными государственными органами природопользователям, осуществляющим экологически опасную деятельность, удостоверяющий право на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, специальное водопользование, хранение и захоронение отходов производства, и иные виды вредного воздействия при соблюдении требований в области охраны окружающей среды, установленных законодательством.

Внедрение комплексных природоохранных разрешений способствует развитию комплексного подхода к предотвращению вредного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности, повышает эффективность планирования и реализации природоохранных мероприятий.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Методика проведения предварительного экологического анализа программ более чистого производства

Заполнить таблицу

Материалы				
Количество материалов, используемых на единицу продукции				
Количество переработанных, вторично используемых или вторично переработанных материалов на единицу продукции;				
Количество выброшенных или вторично используемых упаковочных материалов на единицу продукции				
Количество воды, потребляемой на единицу продукции				
Количество опасных веществ, используемых в производственном процессе, на единицу продукции				
Энергия				
Количество энергии, используемой за год, или затраченной на единицу продукции;				
Количество энергии, используемое на единицу услуги, или на одного потребителя;				
Количество каждого вида энергии (общее или на единицу продукции);				
Количество энергии сэкономленной в результате внедрения программ по энергосбережению, на единицу продукции				
Продукция				
Количество продукции, которая может быть вторично использована или переработана				
Количество бракованной продукции				
Количество каждого вида энергии, потребля-				

емой при использовании продукции				
Продолжительность использования продукции				
Количество опасных веществ/компонентов на единицу продукции				
Производственные мощности и оборудование				
Количество аварийных ситуаций (например, взрывов) или нештатных ситуаций (например, остановок работы) за год				
Количество часов, потраченных на предупредительное техническое обслуживание оборудования за год				
Снабжение и поставки				
Среднегодовое потребление топлива транспортным оборудованием				
Количество грузовых поставок на каждый тип транспорта в день				
Количество производственных поездок на каждый вид транспорта				
Отходы				
Количество отходов, производимых за год или на единицу продукции				
Количество опасных, вторично используемых или вторично перерабатываемых отходов в год				
Количество отходов, отправленных на свалки, на единицу продукции				
Количество опасных отходов, не произведённых в результате замены исходного сырья и материалов				
Выбросы/сбросы в атмосферу, почву, водоемы				
Количество специфических выбросов на единицу продукции				
Количество выбросов, потенциально воздействующих на изменение климата или исто-				

щение озонового слоя				
Количество специфических материалов, сбрасываемых в водоёмы				
Количество тепловой энергии, попадающей в водоёмы.				

2.2 Составление программы более чистого производства на основе действующего производственного процесса.

Рассмотреть, как реализуется принцип предотвращения загрязнения для:

1. литейного производства (чугунное, цветное литье)
2. кузнечного производства
3. процесса сварки
4. гальванического производства
5. механосборочного производства
6. процесса окраски
7. в строительстве
8. при производстве цемента
9. при упаковке продукции
10. при сжигании различных видов топлива
11. в офисных помещениях
12. в процессе транспортировки и т.п.

На основании схемы материальных потоков определить те стадии жизненного цикла продукции, на которых можно достичь потенциального совершенствования в сферах:

а) Производство продукции:

- уменьшение потребления сырьевых ресурсов, энергии (ресурсосбережение);
- выбор альтернативных материалов, имеющих меньшее влияние на окружающую среду;
- улучшение вторичной переработки продукции, технологических отходов;
- использование меньшей или альтернативной упаковки;
- увеличение эффективности использования/распределения транспортных потоков (логистика движения сырьевых и транспортных потоков);

- разработка продукции, имеющей меньше влияние на окружающую среду как во время ее производства, так и в процессе использования и утилизации.

б) Производственные процессы:

- использование более чистых технологий с более эффективным использованием ресурсов и материалов (направленный на ресурсосбережение);

в) Обучение и коммуникации:

- разработка программ повышения экологического сознания персонала и проведение обучения;

- информированности о своей природоохранной деятельности поставщиков, подрядчиков и клиентов.

г) Система управления окружающей средой:

- совершенствование структуры управления, определения ответственности;

- лучшее определение и изложение параметров производственных процессов;

- определение методов управления и действия;

- эффективность системы корректирующих и предупреждающих действий;

- качество информации по мониторингу и измерениям;

- эффективность цикла внутренних аудитов.

2.3 Оценка эффективности программ более чистого производства.

Представить в виде диаграмм:

годовой расход сырья и вспомогательных материальных ресурсов (валовый и на единицу выпускаемой продукции)

годовой расход энергоресурсов (валовый и на единицу выпускаемой продукции)

годовые фактические выбросы загрязняющих веществ в тоннах (валовый и на единицу выпускаемой продукции), выбросы по классам опасности, выбросы по веществам (в сравнении с лимитами)

годовой объем изъятый (добытый) и полученной воды (валовый и на единицу выпускаемой продукции)

годовой объем отведенных сточных вод (валовый и на единицу выпускаемой продукции)

годовой количество отходов, образовавшихся на предприятии (валовой и на единицу выпускаемой продукции).

Данные для анализа взять из экологического паспорта предприятия.

2.4 Расчет материального баланса процесса горения топлива

Пересчёты состава топлива

Составы топлива для расчетов горения берутся по справочным данным, в которых для газообразных топлив состав дается на сухой газ, а для твердых и жидких топлив - на горючую (реже на рабочую) массу. Составы топлива приведены в прил. 1-3.

Зная состав горючей массы твердого или жидкого топлива, количество в нем золы и влаги, пересчитывают его состав на рабочую массу.

Определения составов рабочего топлива, в процентах по массе, производят по формулам:

для сухой массы топлива;

$$C^P = C^c \frac{100 - W^P}{100}, \% \quad (1)$$

- для горючей массы топлива;

$$C^P = C^g \frac{100(A^F + W^P)}{100}, \% \quad (2)$$

где, C^P , C^c , C^g – отдельные составляющие рабочей, сухой и горючей массы топлива соответственно, %; W^P – содержание влаги в топливе, %; A^F – содержание золы в топливе, %.

Исходный и рабочий составы топлива представляют в табличной форме (см. пример).

Расход воздуха на горение

Для обеспечения процесса горения топлива требуется воздух, необходимое количество которого определяется по количеству кислорода, вступающего в реакции окисления с учетом некоторого избытка, для обеспечения полного сгорания топлива.

В расчетах принимают следующий состав воздуха по объему: азот 79 % и кислород 21 %.

Теоретически необходимый расход сухого воздуха для горения определяют по формулам:

- для твердого и жидкого топлива:

$$L_0 = 0,0889 \cdot C^P + 0,265 \cdot H^P - 0,0333 \cdot (O^P - S^P), \text{ м}^3/\text{кг} \quad (3)$$

для газообразного топлива:

$$L_0 = 0,0476 \cdot (0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 2 \cdot CH_4 + 3,5 \cdot C_2H_6 + 5 \cdot C_3H_8 + 6,5 \cdot C_4H_{10} + 8 \cdot C_5H_{12} + 9,5 \cdot C_6H_{14} + 1,5 \cdot H_2S + 3 \cdot C_2H_4 + 7,5 \cdot C_6H_6 - O_2) \\ , \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (4)$$

$$L = 0,0476 \cdot$$

Атмосферный воздух – влажный. Количество влаги в воздухе характеризуется показателем влагосодержания d (г/кг сухого воздуха). Начальное значение влагосодержания принимаем равным 10 г/кг сухого воздуха.

Расход атмосферного воздуха при влагосодержании d (г/кг сухого воздуха) равен:

$$L'_0 = (1 + 0,0016 \cdot d) \cdot L_0, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (5)$$

Если принять $d=10$ г/кг сухого воздуха, то

$$L'_0 = 1,016 \cdot L_0, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (6)$$

Действительный расход сухого воздуха с учетом коэффициента расхода воздуха, равен:

$$L_\alpha = \alpha \cdot L \quad (7)$$

где α - коэффициент расхода воздуха *действительный* расход атмосферного воздуха при влагосодержании $d=10$ г/кг сухого воздуха будет:

$$L'_\alpha = 1,016 \cdot L_\alpha, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (8)$$

Избыточное количество воздуха, вводимое в топливосжигающие устройства, составляет:

$$L_{изб} = (\alpha - 1) \cdot L_\alpha, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (9)$$

Значения коэффициента избытка воздуха зависят от вида топлива, способа сжигания, конструкций топливосжигающих устройств и условий эксплуатации печи. Так, для газа и мазута $\alpha = 1,05-1,20$; для пылевидного топлива $\alpha = 1,20-1,35$. При слоевом сжигании углей, антрацита, торфа $\alpha = 1,3-1,4$ и т.д. В кольцевых печах, работающих на твердом топливе $\alpha = 1,5-2,0$ в зоне обжига, а в зоне в начале обжига $\alpha = 4,0-5,0$.

Состав и объем продуктов горения

При сжигании топлива с избытком воздуха образуются CO_2 , SO_2 , N_2 , O_2 , H_2O .

Объемы отдельных составляющих продуктов горения твердого и жидкого топлив, в m^3/kg , подсчитываются по формулам:

$$V_{CO_2} = 0,01855 \cdot C^p \quad (10)$$

$$V_{SO_2} = 0,007 \cdot S^p \quad (11)$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot L_\alpha + 0,006 \cdot N^p \quad (12)$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0 \quad (13)$$

$$V_{H_2O} = 0,112 \cdot H^p + 0,0124 \cdot (W^p + 100 \cdot W_{\text{пар}}) + 0,0016 \cdot d \cdot L_\alpha \quad (14)$$

где $W_{\text{пар}}$, – количество пара, вводимого для распыления жидкого топлива, kg/kg топлива.

Объем продуктов горения газообразного топлива определяется по формулам:

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot (CO_2^p + CH_4^p + 2 \cdot C_2H_6^p + 3 \cdot C_3H_8^p + 4 \cdot C_4H_{10}^p + 5 \cdot C_5H_{12}^p + 6 \cdot C_6H_{14}^p) \quad (15)$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot (2 \cdot CH_4^p + 3 \cdot C_2H_6^p + 4 \cdot C_3H_8^p + 5 \cdot C_4H_{10}^p + 6 \cdot C_5H_{12}^p + 7 \cdot C_6H_{14}^p + H_2O + 0,16 \cdot d \cdot L_\alpha) \quad (16)$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot L_\alpha + 0,01 \cdot N_2^p \quad (17)$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0 \quad (18)$$

Общее количество продуктов горения определяют по формуле:

$$V_\alpha = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2} \quad (19)$$

Для определения процентного состава продуктов горения нужно знать объем отдельных составляющих. Принимая V_α за 100%, определяем процентное содержание каждого компонента по формуле:

$$C_{\text{газа}} = \frac{V_{\text{газа}}}{V_\alpha} \cdot 100 \% \quad (20)$$

Сумма всех компонентов должна составить 100%.

Материальный баланс процесса горения

Материальный баланс включает в себя приходные и расходные статьи, суммы которых в численном выражении должны быть одинаковыми, т.е. приход равен расходу.

Приходными статьями баланса являются: топливо, составляющие природного газа и составляющие воздуха, затраченного на горение.

Расходными статьями баланса являются газообразные продукты горения, золы и шлаки, образующиеся при сжигании твердого топлива.

Баланс составляется на 100 кг твердого или жидкого топлива или на 100 м газообразного топлива.

Перевод статьи баланса из м³ в кг осуществляется умножением на плотность данного газа.

Оформление таблицы баланса приведено в примерах.

Примеры расчета горения топлива

Расчет горения природного газа

Исходные данные:

Природный газ Березовско-Игримского месторождения (Северный Урал).

Состав сухого газа (по табл. 12) приведен в табл. 1. Содержание влаги в газе принимаем $W^p = 1,0$ %. Коэффициент расхода воздуха при сжигании газа принимаем $a = 1,2$.

Таблица 1 – Состав сухого газа, об.%

CH_4^c	$C_2H_6^c$	$C_3H_8^c$	$C_4H_{10}^c$	$C_5H_{12}^c$	CO_2^c	N_2^c	H_2S^c	Сумма
91,6	1,6	0,8	0,4	0,2	0,6	4,7	0,1	100,0

Состав рабочего топлива по формулам (1,2):

- метан $CH_4^p = 91,6 \cdot \frac{100-1,0}{100} = 91,6 \cdot 0,99 = 90,68$ %
- этан $C_2H_6^p = 1,6 \cdot 0,99 = 1,58$ %;
- пропан $C_3H_8^p = 0,8 \cdot 0,99 = 0,79$ %;
- бутан $C_4H_{10}^p = 0,4 \cdot 0,99 = 0,40$ %;
- пентан $C_5H_{12}^p = 0,2 \cdot 0,99 = 0,20$ %;
- углекислый газ $CO_2^p = 0,6 \cdot 0,99 = 0,59$ %;
- азот $N_2^p = 4,7 \cdot 0,99 = 4,65$ %;
- сероводород $H_2S^c = 0,1 \cdot 0,99 = 0,10$ %.

-
-
-
Таблица 2 – Состав влажного рабочего газа, об.%

CH_4^p	$C_2H_6^p$	$C_3H_8^p$	$C_4H_{10}^p$	$C_5H_{12}^p$	CO_2^p	N_2^p	H_2S^c	H_2O	Сумма
90,68	1,58	0,79	0,40	0,20	0,60	4,65	0,10	1,00	100,0

Теоретически необходимое количество сухого воздуха для сжигания газа по формуле (3):

$$L_0 = 0,0476 \cdot (2 \cdot 90,68 + 3,5 \cdot 1,58 + 5 \cdot 0,79 + 6,5 \cdot 0,4 + 1,5 \cdot 0,1) = 9,29$$

m^3/m^3

С учетом влажности атмосферного воздуха при влагосодержании $d = 10$ г/кг сухого воздуха получим:

$$L'_0 = 1,016 \cdot 9,29 = 9,44, m^3/m^3$$

Действительное количество воздуха при коэффициенте расхода $a = 1,2$ по формулам (7–8):

- сухого $L_\alpha = 1,2 \cdot 9,29 = 11,15, m^3/m^3$;

- атмосферного $L'_{\alpha} = 1,2 \cdot 9,44 = 11,33, m^3/m^3$;

Состав и количество продуктов горения (m^3/m^3) при коэффициенте расхода воздуха $a = 1,2$ по формулам (10–14):

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot (0,60 + 90,68 + 2 \cdot 1,58 + 3 \cdot 0,79 + 4 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 0,1) = 0,995$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot (2 \cdot 90,68 + 3 \cdot 1,58 + 4 \cdot 0,79 + 5 \cdot 0,4 + 6 \cdot 0,2 + 1,00 + 0,16 \cdot 10 \cdot 11,15 + 0,1) = 2,114$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 11,15 + 0,01 \cdot 4,65 = 8,855$$

$$V_{H_2O} = 0,21 \cdot (1,2 - 1) \cdot 9,29 = 0,390$$

Общий объем продуктов горения при коэффициенте расхода воздуха $a = 1,2$ по формуле (19):

$$V_\alpha = 0,995 + 2,114 + 8,855 + 0,390 = 12,354 m^3/m^3$$

Процентный состав продуктов горения по формуле (20):

$$C_{CO_2} = \frac{100 \cdot 0,995}{12,354} = 8,05 \%$$

$$C_{N_2} = \frac{100 \cdot 8,855}{12,354} = 71,68 \%$$

$$C_{O_2} = \frac{100 \cdot 0,390}{12,354} = 3,16 \%$$

$$C_{H_2O} = \frac{100 \cdot 2,114}{12,354} = 17,11 \%$$

Всего: 100,0 %

Таблица 3 – Материальный баланс процесса горения на 100 м³ природного газа при коэффициенте расхода воздуха $\alpha = 1,2$.

Приход	кг	Расход	кг
Природный газ:		Продукты горения:	
CH ₄ =90,68·0,717	65,02	CO ₂ =100·0,995·1,977	196,71
C ₂ H ₆ =1,58·1,356	2,14	H ₂ O=100·2,114·0,804	169,97
C ₃ H ₈ =0,79·2,020	1,60	O ₂ =100·0,390·1,429	55,73
C ₄ H ₁₀ =0,40·2,840	1,14	N ₂ =100·8,855·1,251	1107,76
C ₅ H ₁₂ =0,20·3,218	0,64		
H ₂ S=0,10·1,539	0,15		
CO ₂ =0,60·1,977	1,19		
N ₂ =4,65·1,251	5,82		
H ₂ O=1,00·0,804	0,80		
Воздух		Невязка баланса	
O ₂ =100·0,21·11,15·1,429	334,60		-0,79
N ₂ =100·0,79·11,15·1,251	1101,94		
H ₂ O=0,16·10·11,15·0,804	14,34		
Итого	1529,38		1529,38

Невязка баланса составляет: $\frac{100 \cdot 0,79}{1529,38} = 0,05 \%$

Расчет горения каменного угля (пылевидного)

Исходные данные:

Каменный уголь марки Д Ленинского месторождения Кузнецкого бассейна. Содержание влаги в пылевидном топливе $W^p = 10 \%$.
Содержание золы в угле $A^c = 5,5 \%$.

Коэффициент расхода воздуха принимаема $\alpha = 1,2$.

Таблица 4 – Состав горючей массы угля, масс.%

C ^r	H ^r	N ^r	O ^r	S ^r	Сумма
79,0	5,5	2,4	12,6	0,5	100,0

- содержание золы $A^p = \frac{5,5 \cdot (100-10)}{100} = 5,0 \%$;
- углерод $C^p = 79,0 \cdot \frac{100 - (5,0 + 10)}{100} = 67,2 \%$;
- водород $H^p = 5,5 \cdot 0,85 = 4,7 \%$;

- азот $N^P = 2,4 \cdot 0,85 = 2,0 \%$;
- кислород $O^P = 12,6 \cdot 0,85 = 10,7 \%$;
- сера $S^P = 0,5 \cdot 0,85 = 0,4 \%$.

Таблица 5 – Состав рабочего топлива, масс.%

C^P	H^P	N^P	O^P	S^P	A^P	W^P	Сумма
67,2	4,7	2,0	10,7	0,4	5,0	10,0	100,0

Теоретически необходимое количество сухого воздуха:

$$L_0 = 0,0889 \cdot 67,2 + 0,265 \cdot 4,7 - 0,0333 \cdot (10, -0,4) = 6,88$$

$\text{м}^3/\text{кг}$

С учетом влажности атмосферного воздуха при влагосодержании $d = 10 \text{ г/кг}$ сухого воздуха получим:

$$L'_0 = 1,016 \cdot 6,88 = 6,99 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Действительное количество воздуха при коэффициенте расхода $a = 1,2$:

$$\text{сухого } L_\alpha = 1,2 \cdot 6,88 = 8,26 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$\text{атмосферного } L'_\alpha = 1,2 \cdot 6,99 = 8,39 \text{ м}^3/\text{кг};$$

Состав и объем продуктов горения :

$$V_{CO_2} = 0,011855 \cdot 67,2 = 1,247$$

$$V_{SO_2} = 0,007 \cdot 0,4 = 0,003$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 8,26 + 0,005 \cdot 2,0 = 6,535$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (1,2 - 1,0) \cdot 6,88 = 0,289$$

$$V_{H_2O} = 0,112 \cdot 4,7 + 0,0124 \cdot (10,0 + 0) + 0,0016 \cdot 10,0 \cdot 8,26 = 0,783$$

Общий объем продуктов горения при коэффициенте расхода воздуха $a = 1,2$.

$V_\alpha = 1,247 + 0,003 + 6,535 + 0,289 + 0,783 = 8,857 \text{ м}^3/\text{кг}$; Процентный состав продуктов горения:

$$C_{CO_2} = \frac{100 \cdot 1,247}{8,857} = 14,08 \%$$

$$C_{SO_2} = \frac{100 \cdot 0,003}{8,857} = 0,03 \%$$

$$C_{N_2} = \frac{100 \cdot 6,535}{8,857} = 73,78 \%$$

$$C_{O_2} = \frac{100 \cdot 0,289}{8,857} = 3,26 \%$$

$$C_{H_2O} = \frac{100 \cdot 0,783}{8,857} = 8,85 \%$$

Таблица 6 – Материальный баланс процесса горения на 100 кг топлива при коэффициенте расхода воздуха $\alpha = 1,2$.

Приход	кг	Расход	кг
Топливо:	100,00	Зола	5,00
Воздух:		Продукты горения:	
$O_2=100 \cdot 0,21 \cdot 8,26 \cdot 1,429$	247,87	$CO_2=100 \cdot 1,247 \cdot 1,977$	246,53
$N_2=100 \cdot 0,79 \cdot 8,26 \cdot 1,251$	816,33	$SO_2=100 \cdot 0,003 \cdot 2,852$	0,86
$H_2O=0,16 \cdot 10 \cdot 8,26 \cdot 0,804$	10,63	$H_2O=100 \cdot 0,783 \cdot 0,804$	62,95
		$O_2=100 \cdot 0,289 \cdot 1,429$	41,30
		$N_2=100 \cdot 6,535 \cdot 1,251$	817,53
		Невязка баланса	
			-0,71
Итого	1174,83		1174,83

Невязка баланса составляет: $\frac{100 \cdot 0,71}{1174,83} = 0,06 \%$

Расчет горения мазута

Исходные данные:

Мазут сернистый марки 20. Содержание влаги в топливе $W^p = 2 \%$. Содержание золы в топливе $A^p = 0,2 \%$.

Коэффициент расхода воздуха при сжигании мазута с помощью форсунки низкого давления принимаем $\alpha = 1,2$.

Таблица 7 – Состав горючей массы мазута, масс. %

C^f	H^f	N^f	O^f	S^f	Сумма
85,0	11,6	0,3	0,2	2,9	100,0

Состав рабочего топлива:

- углерод $C^P = 85,0 \cdot \frac{100-(0,2+2,0)}{100} = 83,1 \%$;
- водород $H^P = 11,6 \cdot 0,978 = 11,4 \%$;
- азот $N^P = 0,3 \cdot 0,978 = 0,3 \%$;
- кислород $O^P = 0 \cdot 0,978 = 0,2 \%$;
- сера $S^P = 2,9 \cdot 0,978 = 2,8 \%$.

Таблица 8 – Состав рабочего топлива, масс.%

C^P	H^P	N^P	O^P	S^P	A^P	W^P	Сумма
83,1	11,4	0,3	0,2	2,8	0,2	2,0	100,0

Теоретически необходимое количество сухого воздуха:

$$L_0 = 0,0889 \cdot 83,1 + 0,265 \cdot 11,4 = 10,41 \text{ м}^3/\text{кг}$$

С учетом влажности атмосферного воздуха при влагосодержании $d = 10 \text{ г/кг}$ сухого воздуха получим:

$$L'_0 = 1,016 \cdot 10,41 = 10,58 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Действительное количество воздуха при коэффициенте расхода $a = 1,2$:

$$\text{сухого } L_\alpha = 1,2 \cdot 10,41 = 12,49 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$\text{атмосферного } L'_\alpha = 1,2 \cdot 6,99 = 12,70 \text{ м}^3/\text{кг};$$

Состав и объем продуктов горения :

$$V_{CO_2} = 0,011855 \cdot 83,1 = 1,542$$

$$V_{SO_2} = 0,007 \cdot 2,8 = 0,020$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 12,49 + 0,008 \cdot 0,3 = 9,870$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (1,2 - 1,0) \cdot 10,41 = 0,437$$

$$V_{H_2O} = 0,112 \cdot 11,4 + 0,0124 \cdot (2,0 + 0) + 0,0016 \cdot 10,0 \cdot 12,49 = 1,501$$

Общий объем продуктов горения при коэффициенте расхода воздуха $a = 1,2$.

$$V_\alpha = 1,542 + 0,020 + 9,870 + 0,437 + 1,501 = 13,370 \text{ м}^3/\text{кг};$$

Процентный состав продуктов горения:

$$C_{CO_2} = \frac{100 \cdot 1,542}{13,370} = 11,53 \%$$

$$C_{SO_2} = \frac{100 \cdot 0,020}{13,370} = 0,15 \%$$

$$C_{N_2} = \frac{100 \cdot 9,870}{13,370} = 73,82 \%$$

$$C_{O_2} = \frac{100 \cdot 0,437}{13,370} = 3,27 \%$$

$$C_{H_2O} = \frac{100 \cdot 1,501}{13,370} = 11,23 \%$$

Таблица 9 – Материальный баланс процесса горения на 100 кг топлива при коэффициенте расхода воздуха $a=1,2$.

Приход	кг	Расход	кг
Топливо:	100,00	Зола	0,20
Воздух:		Продукты горения:	
$O_2=100 \cdot 0,21 \cdot 12,49 \cdot 1,429$	374,81	$CO_2=100 \cdot 1,542 \cdot 1,977$	304,85
$N_2=100 \cdot 0,79 \cdot 12,49 \cdot 1,251$	1234,37	$SO_2=100 \cdot 0,020 \cdot 2,852$	5,70
$H_2O=0,16 \cdot 10 \cdot 12,49 \cdot 0,804$	16,07	$H_2O=100 \cdot 1,501 \cdot 0,804$	120,68
		$O_2=100 \cdot 0,437 \cdot 1,429$	62,45
		$N_2=100 \cdot 9,870 \cdot 1,251$	1234,74
		Невязка баланса	
			-3,37
Итого	1725,25		1725,25

Невязка баланса составляет: $\frac{100 \cdot 3,37}{1725,25} = 0,20 \%$

Приложения

Таблица 10 – Характеристики угля

Месторождение	Марка	Влажность, W^P , %	Зола, A^P , %	Состав горючей массы, масс. %				
				S^T	C^T	H^T	N^T	O^T
Донецкий бассейн	Д	13,0	19,6	5,9	75,0	5,5	1,5	12,0
	Г	8,0	16,0	4,3	80,5	5,4	1,5	8,3
	Т	4,5	16,0	2,2	90,0	4,2	1,5	2,1
	АК	4,0	6,0	1,9	94,0	1,8	1,0	1,3
	АС	5,0	14,0	2,0	93,5	1,8	1,0	1,7
Кузнецкий бассейн: Кемеровское Ленинское Араличевское	ПС	9,0	16,0	0,7	86,0	5,0	2,0	6,3
	Т	8,0	16,0	0,7	90,5	4,3	2,0	2,5
	Д	10,0	5,5	0,5	79,0	5,5	2,4	12,6
	Г	8,5	11,0	0,7	83,0	5,8	2,7	7,8
Араличевское	Т	7,0	16,0	0,7	89,0	4,1	2,0	4,2
Карагандинский бассейн	ПС	7,5	27,0	1,2	85,0	5,1	1,4	7,3
Подмосковный бассейн	Б	32,5	35,0	5,9	67,0	5,0	1,3	20,
Печерский бассейн: Воркутинское Интинское	ПЖ	8,0	23,0	1,3	85,0	5,3	2,2	6,2
	Д	11,0	28,0	3,9	75,0	5,0	2,0	14,1
Канско-Ачинский: Назаровское	Б	39,0	12,0	0,8	70,0	4,8	0,8	23,6
Уральский бассейн: Богословское Буланашское Челябинское	Б	29,0	20,0	0,6	70,0	4,5	1,3	23,6
	Г	11,0	24,0	1,3	80,5	5,5	1,5	11,2
	Б	17,0	32,0	2,1	72,0	5,2	1,7	19,0
Иркутская область: Черемховское	Д	12,0	17,0	1,4	78,0	5,7	1,6	13,3

Читинская область: Тарбагатайское Черновское Букачачинское	Б	25,0	15,0	1,5	74,0	5,1	1,3	18,1
	Б	33,0	11,0	0,8	75,0	5,0	1,3	17,9
	Г	8,0	10,0	0,7	82,0	5,5	1,1	10,7

Таблица 11 – Характеристики жидкого топлива

Наименование топлива	Марка	Влажность, W^P , %	Зола, A^P , %	Состав горючей массы, масс. %				
				C^T	H^T	S^T	N^T	O^T
Мазут малосернистый	20	2,0	0,1	87,2	11,7	0,5	0,3	0,3
	40	3,0	0,2	87,4	11,2	0,5	0,4	0,5
	60	3,0	0,2	87,6	10,7	0,7	0,5	0,5
	80	4,0	0,3	87,6	10,5	0,9	0,5	0,5
Мазут сернистый	10	1,0	0,1	85,2	11,6	2,5	0,3	0,4
	20	2,0	0,2	85,0	11,6	2,9	0,3	0,2
	40	3,0	0,3	85,0	11,4	3,2	0,2	0,2
Смола генераторная	-	5,0	1,0	83,0	11,0	1,0	2,0	3,0
Соляровое масло	-	-	-	86,5	12,8	0,4	0,2	0,1
Бензин	-	-	-	85,0	14,9	0,05	0,03	0,02

Таблица 12 – Характеристики природного газа

Месторождение	Состав газа, об. %							
	CH_4^c	$C_2H_6^c$	$C_3H_8^c$	$C_4H_{10}^c$	$C_5H_{12}^c$	CO_2^c	N_2^c	H_2S^c
Шебелинский	93,2	4,4	0,8	0,6	0,3	0,1	0,8	-
Ставропольский	98,0	0,3	0,1	0,1	-	0,3	1,2	-
Газлинский	95,6	2,7	0,3	0,3	-	0,1	1,1	-
Саратовский	94,0	1,2	0,7	0,4	0,2	0,2	3,3	-
Коми	85,9	3,1	1,0	0,4	0,1	0,1	9,4	-
Березовский-Игримский	91,6	1,6	0,8	0,4	0,2	0,6	4,7	0,1
Бугурусланский	81,7	5,0	2,0	1,2	0,6	0,4	8,5	0,6
Азнефть	85,0	2,8	-	1,2	-	11,0	-	-
Грознефть	49,0	11,0	17,0	15,0	4,0	1,0	3,0	-
Западная Сибирь	92,7	5,0	0,5	-	1,8	-	-	-

Таблица 13 – Плотность газов

Наименование и химическая формула газа	Плотность, кг/м ³
Метан CH ₄	0,717
Этан C ₂ H ₆	1,356
Пропан C ₃ H ₈	2,020
Бутан C ₄ H ₁₀	2,840
Пентан C ₅ H ₁₂	3,218
Гексан C ₆ H ₁₄	3,840
Этилен C ₂ H ₄	1,261
Водород H ₂	0,090
Сероводород H ₂ S	1,539
Окись углерода CO	1,250
Кислород O ₂	1,429
Азот N ₂	1,251
Двуокись углерода CO ₂	1,977
Водяной пар H ₂ O	0,804

3. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

Примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся

3.1 Контрольные вопросы для студентов

1. Дайте определение более чистого производства (БЧП)
2. Назовите три основные характеристики БЧП.
3. Что такое предотвращение загрязнения?
4. Назовите основные факторы, приведшие к возникновению подхода БЧП.
5. Приведите пример недостаточности подхода «конца трубы» для соответствия установленным нормам
6. Назовите два главных подхода сокращения источников выбросов и появления отходов, используемых в программах предотвращения загрязнения окружающей среды
7. Перечислите основные методы, составляющие БЧП.
8. Приведите примеры практических подходов БЧП.
9. Назовите две главные меры по контролю и переработке отходов
10. Почему рециркуляция менее предпочтительна, чем предотвращение загрязнения?
11. Приведите пример, объясняющий проблему переработки отходов.
12. Опишите иерархию мер в соответствии с подходом БЧП.
13. Почему невозможно совсем отказаться от стратегии «конца трубы»?
14. Как Вы аргументируете начало проекта БЧП руководству?
15. Как Вы объясните разницу между проектом и системой БЧП?
16. Подготовьте пункты политики, актуальные для Вашего участка.
17. Аргументируйте состав «идеальной» рабочей группы для Вашего участка.
18. Предложите цели Вашего проекта.
19. Определите источники информации для проекта.
20. Какие вопросы вы зададите при первом визите?
21. На что Вы обратите внимание при первом визите?
22. Разработайте план детальной оценки.

23. Проанализируйте ответы, полученные при первом визите, и на их основании составьте вопросы для детальной оценки с соблюдением приоритета.

24. Составьте материальный и энергетический балансы для вашего процесса или деятельности.

25. Как произвести отбор наиболее подходящих идей для проекта БЧП?

26. Как составить отчет, содержащий аргументацию вашего выбора?

27. Наилучшая аргументация руководству для получения финансирования проекта.

28. Распространение идей БЧП в других подразделениях.

29. Каким образом предприятие может привлечь весь персонал к участию в программе БЧП?

30. Всегда ли инженеры и консультанты знакомы с методами БЧП?

31. Свойства топлива и ведение процесса горения, как приемы эффективности получения энергии.

32. Основные мероприятия БЧП в системах распределения энергии.

33. Как повысить эффективности теплообмена в теплообменном оборудовании?

34. Перечислите факторы, влияющие на эффективность работы систем нагрева, охлаждения и вентиляции.

35. Подходы БЧП в потреблении электроэнергии.

36. Назовите основные мероприятия по уменьшению потерь энергии в процессах замораживания, охлаждения и освещения.

37. Что такое иерархия качества воды?

38. Назовите основные меры по повышению эффективности использования воды при мойке.

39. Методы БЧП при управлении использованием воды в контактных и неконтактных процессах.

40. Основные методы БЧП для летучих органических соединений.

41. Использование чистых технологий для сбережения сырья и материалов.

42. Как повысить уровень переработки сырья?

43. Назовите основные проблемы, связанные с оборудованием.

44. Перечислите примеры подходов, позволяющих повысить эффективность использования материалов на этапе окончательной обработки.

45. Проблемы, связанные с готовой продукцией.

46. Применение НДТ для организации системы экологического менеджмента.

47. Приведите примеры международного сотрудничества в области БЧП.

48. Что такое международная декларация БЧП?

49. Приведите примеры государственных программ БЧП.

3.2 Перечень вопросов к зачету

1. Исторические подходы к БЧП
2. Снижение выбросов загрязняющих веществ через концентрирование и разбавление
3. Минимизация отходов, инвентаризация производственных процессов, модификация
4. Определение экологически БЧП. Принципы БЧП
5. Основные характеристики стратегии БЧП
6. Понятие экоэффективности, устойчивое развитие и производство.
7. Примеры практических подходов БЧП
8. Сравнительный анализ методов БЧП и стратегии «конца трубы»
9. Составные части методологии БЧП
10. Инициирование программ БЧП
11. Экологический просмотр
12. Практические аспекты для проведения оценки
13. Подходы к генерированию идей БЧП
14. Оценка идей БЧП
15. Оценка эффективности экологической деятельности
16. Создание системы предотвращения загрязнения на предприятии
17. Барьеры для создания БЧП

18. Характеристика объектов промышленности, являющихся энергоносителями и энергопотребителями.
19. Свойства топлива.
20. Меры, направленные на повышение эффективности функционирования систем производства пара.
21. Критерии эффективного энергопотребления при процессе горения
22. Меры сокращения потерь тепловой энергии в системах распределения жидкостей и пара
23. Вторичное использование конденсата
24. Улавливатели пара и теплообменное оборудование
25. Сушка и выпаривание
26. Нагревание, охлаждение и вентиляция
27. Электродвигатели, насосы, компрессоры
28. Замораживание и охлаждение
29. Освещение
30. Транспортное хозяйство
31. Использование воды в промышленности, иерархия качества воды
32. Экономичное использование воды в контактных процессах
33. Экономичное использование воды в неконтактных процессах
34. Сырьевая система и причины образования отходов в промышленности
35. Повышение уровня переработки сырья в производственном процессе
36. Проблемы, связанные с оборудованием и окончательной обработкой продукции
37. Использование методов БЧП для ЛОС. Основные принципы правильного обращения с растворителями
38. Очистка поверхности и обезжиривание.
39. Зачистка и окраска
40. Печатная промышленность
41. Интегрированная политика изделия. Лучшая доступная техника
42. Экологический след, Расширенная ответственность производителя, потребление материала на единицу продукции.

43. Экологический менеджмент и БЧП
44. Международная декларация более чистого производства
45. Международное сотрудничество в области БЧП. Центры БЧП и их деятельность.
46. Примеры программ БЧП в различных отраслях промышленности

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Основная литература

1. Руководство по ресурсноэффективному и более чистому производству Республики Беларусь/ С.В. Дорожко, 2017 – 75 с.
2. Беллмане, И.В. Системы экологического менеджмента: от теории к практике, К. Далхаммар. – Лунд: МИИЭЭ, 2012. – 197 с.
3. Блажей, А.И. Более чистое производство. Принципы и внедрение. - Братислава – Осло, 2008 – 305 с.
4. Более чистое производство – технологии и средства для ресурсно-эффективного производства / Нильссон, Л. [и др.]. - Уппсала, Балтик университети пресс. 2007. - 324 с.
5. Гридел, Т.Е., Алленби, Б.Р. Промышленная экология /Т.Е. Гридел, Б.Р. Алленби - М.: Юнити, 2014. - 513 с.
6. Плепис, А.А., Монт, О.В., Дуркин, М.Н. Экологическое управление и более чистое производство. Лунд, 2011. – 471с.
7. Системы экологического менеджмента для практиков / С.Ю. Дайман [и др.]. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014. – 308 с.

Дополнительная литература

1. Гарин, В.М., Кленова, И.А., Колесников, В.И. Экология для технических вузов/ В.М. Гарин, И.А. Кленова, В.И. Колесников – Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. – 320 с.
2. Домашняя страница ЮНЕП: <http://www.uneptie.org>
3. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020г. - Минск: Юнипак, 2004
4. Национальный отчет о прогрессе в области устойчивого развития Республики Беларусь.- Минск: Нац. Комиссия по устойчив. развитию РБ, 2002
5. Правительственные стратегии и политики для более чистого производства. Изд. ЮНЕП, Париж, 2002. – 104с.
6. Программа БЧП ЮНИДО: <http://www.unido.org>
7. Руководство по предотвращению загрязнения окружающей среды на предприятии. Материалы американского агентства по окружающей среде, Вашингтон- Цинциннати -Рига, 2012. – 286с.

8. Демонстрационная программа по ресурсоэффективному и более чистому производству в Республике Беларусь

<http://resp.by/links.html>

9. Экологизация малых и средних предприятий: Пособие по инструментам природоохранной политики для стран Восточного партнерства ЕС

<http://www.oecd.org/environment/outreach/Greening-SMEs-policy-manualrus.pdf>

10. Карманное пособие - Ресурсоэффективные хозяйственные методы при производстве бетона

<https://www.oecd.org/env/outreach/Pocket>