



Возможности переработки отходов в энергию в процессе управления твердыми бытовыми отходами

Руководство для принимающих решения
ответственных лиц в развивающихся странах
и странах с переходной экономикой

Являясь предприятием, находящимся в федеральной собственности, GIZ поддерживает правительство Германии в достижении его целей в области международного сотрудничества в целях устойчивого развития

Опубликовано:

Немецким обществом
по международному сотрудничеству (GIZ) ГмбХ

Зарегистрированные офисы
В Бонне и Эшборне, Германия

Фридрих-Эберт-Аллее 36 + 40
53113 Бонн, Германия
Тел. +49 228 44 60 - 0
Факс +49 228 4460 - 1766

E info@giz.de
I www.giz.de

Описание проекта:

Консультационный проект: Концепции устойчивого управления твердыми отходами и безотходной экономики

Авторы:

Дитер Мутц, Дирк Хенгевосс, Кристоф Хуги, Томас Гросс из Университета прикладных наук и искусств Северо-Западной Швейцарии (FHNW).

Под редакцией:

Даниэль Хинклифф, Иоганн Фромманн и Эллен Гунсилиус (GIZ).

Дизайн/верстка:

Жанет Гепэр pixelundpunkt kommunikation, Франкфурт

Печать и распространение:

Druckreif GmbH, Франкфурт
Отпечатано на 100% переработанной бумаге, сертифицированной по стандартам FSC

Авторы фотографий/источники:

© Doosan Lentjes GmbH: стр. 8 и обложка, 21, 24; © Отраслевое объединение "БИОГАЗ" е.В.: стр. 7, 30, 31, 33; © Geosycle: стр. 9 и обложка, 26, 28;
© GIZ: стр. 6 и обложка, 10, 13, 35; © Дитер Мутц: стр. 11, 17, 38;
© Иоганн Фромманн: 33 (слева) и обложка.

URL ссылки:

Данная публикация содержит ссылки на внешние сайты. Ответственность за содержание указанных внешних сайтов лежит при любых обстоятельствах на соответствующих издателях. Когда ссылки на эти сайты были впервые размещены, GIZ проверило стороннее содержание, чтобы установить, может ли оно служить основанием для привлечения к гражданской или уголовной ответственности. Тем не менее, постоянная проверка ссылок на внешние сайты не представляется разумно возможной в отсутствие очевидных признаков нарушения прав. Если GIZ станет известно или будет уведомлено третьей стороной о том, что внешний сайт, на который GIZ предоставило ссылку, дает основания для привлечения его к гражданской или уголовной ответственности, GIZ обязуется немедленно удалить ссылку на такой сайт. GIZ безоговорочно отмежевывается от такого содержания.

GIZ несет ответственность за содержание данной публикации.

Эшборн, май 2017 г.

Возможности переработки отходов в энергию в процессе управления твердыми бытовыми отходами

**Руководство для принимающих решения
ответственных лиц в развивающихся странах
и странах с переходной экономикой**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	5
Общая информация	6
1 Введение	10
1.1 Урбанизация и новые проблемы в области управления отходами	11
1.2 Переработка отходов в энергию: соблазн для муниципалитетов	12
1.3 Переработка отходов в энергию и безотходная экономика	13
1.4 Мифы, сопровождающие переработку отходов в энергию	15
2 Предварительные условия переработки отходов в энергию	16
2.1 Характеристики муниципальных отходов	16
2.2 Правовые рамки и воздействие на окружающую среду	17
2.3 Финансовые и институциональные аспекты энергетических установок по переработке отходов в энергию (ПОЭ)	18
3 Технологические возможности переработки отходов в энергию	19
3.1 Сжигание твердых бытовых отходов	20
3.2 Совместная переработка	26
3.3 Анаэробное сбраживание для производства биогаза	30
3.4 Улавливание свалочного газа	35
3.5 Альтернативные технологии: Пиролиз и производство газообразного горючего	36
4 Матрица поддержки принятия решений	42
4.1 Цель	42
4.2 Матрица принимающего решения ответственного лица	44
4.3 Рекомендации	48
Приложение А: Описание параметров матрицы решений	50
Приложение В: Дальнейшее чтение	55
Ссылки	57

Список сокращений

АС	Анаэробное сбраживание
АТ	Альтернативные технологии (пиролиз/производство газообразного горючего)
АТСМ	Альтернативное топливо и сырьевые материалы
МЧР	Механизм чистого развития
СН₄	Метан
КПЭТ	Комбинированное производство электроэнергии и тепла
СО	Монооксид углерода
СО₂	Диоксид углерода
ОРГ	Объединенная рабочая группа
НСI	Хлористый водород
НF	Фтористый водород
НТ	Низшая теплотворность
СГ	Свалочный газ
МБО	Механическо-биологическая обработка
ТБО	Твердые бытовые отходы
СТБО	Сжигание твердых бытовых отходов
УТБО	Управление твердыми бытовыми отходами
НАМА	Национальный план приемлемых действий по смягчению изменений климата
НПО	Неправительственные организации
NO_x	Оксиды азота
СНОЗ	Скорость нагрузки по органическим загрязнениям
Эксплуатация и техобслуживание	Эксплуатация и техническое обслуживание
ПЭТ	Полиэтиленовый терефталат
ПВХ	Поливинилхлорид
RDF	Топливо из отходов
ЦУР	Цель устойчивого развития
SO₂	Диоксид серы
СТП	Санитарно-технические полигоны
SRF	Топливо из ТБО
УТО	Управление твердыми отходами
ВСПУР	Всемирный совет предпринимателей по устойчивому развитию
ПОЭ	Переработка отходов в энергию

КРАТКИЙ ОБЗОР



Колоссальный рост объема твердых бытовых отходов (ТБО) в быстро растущих городах развивающихся стран и стран с переходной экономикой привел к росту обеспокоенности общественности в связи с возникающими последствиями для здоровья человека и окружающей среды. Сегодня отходы жизнедеятельности почти 3 млрд человек по-прежнему утилизируются бесконтрольно [1]. По мере того, как граждане и принимающие решения ответственные лица начинают более щепетильно относиться к загрязнению окружающей среды и его влиянию на качество их жизни, управление твердыми бытовыми отходами (УТБО) приобретает все большее значение в местной политической повестке дня. В стремлении модернизировать свои системы управления отходами местные органы власти часто сталкиваются с вопросом о том, следует ли им инвестировать в технологии переработки отходов в энергию (ПОЭ). Технологии ПОЭ все чаще представляются в качестве привлекательного варианта для решения не только насущных проблем удаления отходов, но и ряда других проблем одновременно: нехватка электроэнергии, ограниченное пространство для свалок и выбросы парниковых газов в результате ненадлежащего удаления отходов. Однако внедрению технологий ПОЭ часто угрожают общие препятствия, такие, как отсутствие тарифных систем для финансирования инвестиций и эксплуатационных расходов, слабое соблюдение природоохранного законодательства и ограниченность квалифицированного персонала для эффективного и действенного управления установленными системами. Без учета этих рисков проекты ПОЭ могут провалиться, нанеся ущерб как городу, так и местной окружающей среде.

Цель данного руководства

Обсуждение вопросов переработки отходов в энергию может быть трудно для понимания из-за высокой сложности различных технологий, и действительно ПОЭ иногда рекламируется как серебряная пуля для решения городскими органами всех проблем, связанных с утилизацией отходов и нехваткой энергии. Однако рамочные условия в большинстве развивающихся стран и стран с переходной экономикой существенно отличаются от тех, в которых наблюдался рост проектов ПОЭ в промышленно развитых странах, где все чаще встречаются заводы ПОЭ коммунального назначения. Хотя с технологической точки зрения практически все возможно, из этого не следует, что все технологии могут быть приспособлены к местным условиям. Для принятия решения о применимости и пригодности решения в данном контексте необходимо учитывать более широкую картину. Предлагаемые советы должны выходить за рамки чисто технических аспектов.

Возможности переработки отходов в энергию в процессе управления твердыми бытовыми отходами – Руководство для принимающих решения ответственных лиц в развивающихся странах и странах с переходной экономикой содержит описание различных технологий ПОЭ, применяемых в настоящее время на муниципальном уровне, и их потенциальной роли в комплексной системе управления отходами. Данное руководство призвано помочь директивным органам и их консультантам в оценке возможностей, пределов и рисков различных технологий переработки отходов в энергию для эффективного планирования и инвестиций в управление отходами. Цель данного руководства состоит в том, чтобы 1) сделать нынешнюю дискуссию по ПОЭ более прозрачной, 2) дать технический, финансовый, институциональный, социальный, экологический и юридический обзор наиболее часто применяемых технологий ПОЭ и 3) осветить последствия и пределы их применения при рассмотрении международно признанных экологических стандартов. В частности, в нем объясняется необходимость тщательного изучения вопроса о том, являются ли местные условия обращения с отходами приемлемыми, прежде чем рассматривать какой-либо вариант ПОЭ. Руководство не отменяет необходимость проведения профессиональной оценки осуществимости при планировании проектов ПОЭ.

Данное руководство было разработано Немецким обществом по международному сотрудничеству ГмБХ (GIZ) от имени Федерального министерства экономического сотрудничества и развития Германии (BMZ) в сотрудничестве с Университетом прикладных наук и искусств Северо-Западной Швейцарии (FHNW).

Что такое переработка отходов в энергию?

Термин «Переработка отходов в энергию» означает семейство технологий по переработке отходов с целью получения энергии в виде тепла, электричества или альтернативных видов топлива, таких как биогаз. Сфера применения термина «Переработка отходов в энергию» весьма широка и охватывает целый ряд технологий различного масштаба и сложности. Они могут включать в себя производство газа для приготовления пищи в бытовых варочных котлах из органических отходов, сбор метана со свалок, термическую обработку отходов на мусоросжигательных заводах коммунальных служб, совместную переработку топлива из отходов (RDF) на цементных заводах или производство газообразного горючего. В рамках данного руководства принято очень широкое толкование термина «ПОЭ», включающего в себя крупномасштабные заводы на муниципальном уровне (т.е., коммунальная служба/ЖКХ) с использованием технологий сжигания, совместной переработки, анаэробного сбраживания, сбора свалочного газа и пиролиза/производства газообразного горючего. Эти пять технологий применяются к различным потокам отходов и имеют различные функции и характеристики. Поэтому их применимость должна оцениваться независимо с учетом местных условий и рассматриваемого потока отходов. В главе 3 дается более подробный обзор этих пяти технологий.

Основные выводы и рекомендации

При рассмотрении вопроса о внедрении технологий ПОЭ регулирующим органам следует учитывать следующие аспекты:

- » В процессе разработки и совершенствования систем УТБО должна учитываться **иерархия отходов**: Первоочередное внимание следует уделять сокращению отходов путем их предотвращения с последующей подготовкой к повторному использованию и вторичной переработке отходов. Проекты ПОЭ могут быть отнесены к категории дополнительных технологий повторного получения энергии из оставшихся не подлежащих вторичной переработке фракций ТБО и поэтому не должны конкурировать с мерами по сокращению отходов, повторному использованию и вторичной переработке материалов. В контролируемых условиях ПОЭ предпочтительнее утилизации, но занимает положение низкого приоритета в иерархии отходов.

Оцените свой поток отходов и определите дополнительный потенциал для повторного использования и вторичной переработки отдельных фракций отходов.

- » ПОЭ должна соответствовать **высоким стандартам выбросов**: Всеобъемлющая правовая база для всех видов ПОЭ существует лишь в нескольких случаях. Там, где законы отсутствуют или не могут быть применены, не будут достигнуты требуемые высокие стандарты выбросов. Низкие стандарты выбросов недопустимы, поскольку они оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье человека.

Следует действовать с учетом международного опыта и применять международно признанные стандарты при проведении тендерных процессов, обеспечивая наличие механизмов мониторинга и правоприменения для обеспечения соблюдения.





- » ПОЭ требует знаний о количестве и характеристиках отходов: Количество отходов удвоится в течение следующих 20 лет во многих городах, но последовательные планы управления отходами, которые учитывают демографические и социальные изменения, часто отсутствуют.

Необходим план управления отходами для города, учитывающий увеличение количества отходов в среднесрочной и долгосрочной перспективе и описывающий наиболее значимые потоки отходов, их характеристики и варианты переработки. Возможные пути межмуниципального сотрудничества также должны рассматриваться с целью достижения экономически ощутимого эффекта.

- » В основе ПОЭ лежит эффективная система УТБО: Только муниципалитеты, способные эффективно управлять системой сбора и транспортировки отходов с безопасной окончательной утилизацией, могут иметь возможность успешно управлять системами ПОЭ.

Подтверждение и документальное оформление технически и финансово зрелого состояния существующей системы управления отходами.

- » ПОЭ требует значительных финансовых ресурсов: Надежное финансирование для эксплуатации и технического обслуживания является ключом к устойчивой работе установок ПОЭ.

Если ваш муниципалитет не в состоянии обеспечить стабильное финансирование действующей системы сбора и переработки отходов, то следует пересмотреть планы сооружения установки ПОЭ.

- » Доходы от продажи энергии не покрывают расходы ПОЭ: Капитальные и эксплуатационные затраты установок ПОЭ высоки и не могут полностью финансироваться только за счет продажи энергии по рыночным ценам.

Составьте реалистичный прогноз доходов от продажи энергии и обратите внимание на дополнительные и надежные схемы финансирования.

- » Для ПОЭ требуется квалифицированный персонал: Установка ПОЭ не является простым и удобным в обращении средством генерации электричества, газа, тепла или пара, а технически сложным объектом, требующим квалифицированного штата и регулярного технического обслуживания.

Убедитесь, что квалифицированный персонал может быть нанят и сохранен, а штатные сотрудники регулярно проходят обучение. Для решения определенных технических и управленческих задач следует рассмотреть возможность использования внешнего подряда.

- » ПОЭ представляет собой один из возможных компонентов функционирующей системы УТБО: Установки ПОЭ никогда не являются изолированными техническими элементами и не разрешат существующие проблемы сами по себе.

Убедитесь еще на стадии планирования, что возможная установка ПОЭ сможет стать неотъемлемой частью вашей системы управления отходами. Необходимое резервное и аварийное оборудование также должно быть предусмотрено.

- » **Юридическая безопасность для инвесторов в ПОЭ должна быть обеспечена:** Частный сектор играет жизненно важную роль в сооружении и эксплуатации установок ПОЭ. Однако частные инвесторы будут инвестировать только в том случае, если они уверены в получении прибыли от предлагаемых ими услуг. Во многих странах частный сектор по-прежнему неохотно вкладывает средства в развитие ПОЭ из-за связанных с этим финансовых рисков.

Обеспечить атмосферу, которая гарантирует правовую безопасность, основана на прозрачности и доверии и руководствуется видением совместного предложения гражданам услуг по устойчивому управлению отходами.

- » **Технологии ПОЭ должны соответствовать потребностям развивающихся стран:** Опыт эксплуатации установок ПОЭ в развивающихся странах ограничен, и несколько успешных примеров чаще всего касаются улавливания и совместной переработки свалочного газа.

Будьте критичны, если продавец предлагает вам передовую технологию ПОЭ, для которой не может быть предоставлена проверенная запись ее использования в аналогичных условиях.

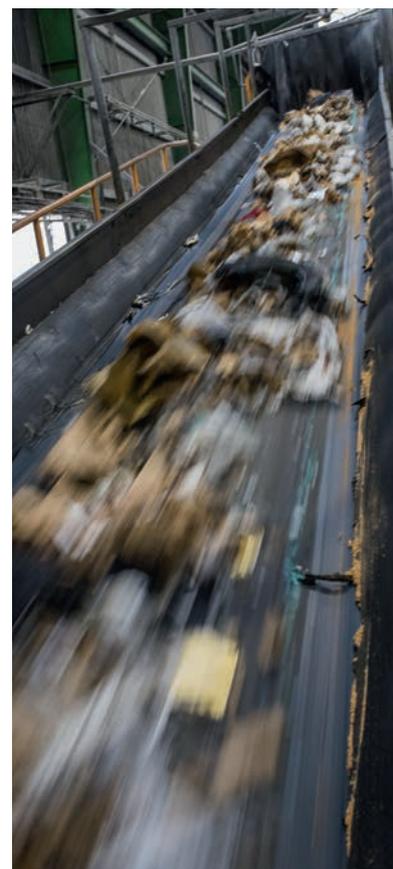
Подход и структура настоящего руководства

Данное руководство основано на экспертных знаниях, накопленных двусторонними и многосторонними агентствами по развитию, практическом опыте операторов заводов и частных компаний, работающих в области УТБО, а также на информации из литературы. **Руководство предназначено для широкого круга читателей:** политиков, руководителей и консультантов на национальном, региональном и местном уровнях, а также для экспертов в области экологии или членов неправительственных организаций (НПО), участвующих в поощрении устойчивого развития городов в развивающихся странах. Этот документ также должен представлять интерес для инжиниринговых компаний, операторов заводов и широкой общественности.

Вводная Глава 1 начинается с обзора управления твердыми бытовыми отходами в целом и отходами в энергетике в частности. В главе 2 рассматриваются предварительные условия, которые должны быть выполнены прежде, чем ПОЭ сможет рассматриваться в качестве одного из вариантов переработки ТБО. В главе 3 дается обзор следующих пяти технологий ПОЭ: (а) сжигания, (б) совместной переработки, (в) анаэробного сбраживания, (г) улавливания свалочного газа и (д) альтернативных технологий (пиролиза/ производства газообразного горючего). Наконец, в главе 4 в матрице решений по различным технологиям указываются предварительные условия для каждой технологии до принятия дальнейших мер.

Благодарность

Этот документ представляет собой совокупность информации, собранной из различных источников, в частности полученной от практических специалистов, работающих в данной области (агентств по развитию, консалтинговых компаний, поставщиков оборудования, операторов установок ПОЭ и т. д.) из промышленно развитых стран, развивающихся стран и стран с переходной экономикой. Все пожертвования с благодарностью принимаются. Отдельное спасибо тем специалистам, которые внесли ценные замечания в рецензии.



1. ВВЕДЕНИЕ

Во многих странах управление твердыми бытовыми отходами (УТБО) часто рассматривается в качестве государственной службы с низким приоритетом, создающей исключительно неудобства, и являющейся дополнительным бременем для бюджета. Тем не менее, недостаточное управление твердыми отходами (УТО) все чаще появляется на повестке дня в связи с увеличением проблем со здоровьем, окружающей средой и недовольством растущего числа граждан снижением качества жизни из-за мусора в общественных местах. Актуальность УТБО как государственной службы часто игнорируется, а ее сложность недооценивается. Цели устойчивого развития Организации Объединенных Наций¹ (ЦУР), а также новый план развития городов Программы ООН по населенным пунктам «ООН-Хабитат»² предусматривают совершенствование практики управления отходами в качестве базовой услуги для граждан.

Ответственные за управление отходами и принимающие решения лица в развивающихся странах должны реагировать на эти новые вызовы, и в последнее время переработка отходов в энергию (ПОЭ) все чаще рассматривается как решение проблем, связанных с ростом количества отходов в растущих городах, а также со стремительно растущим спросом на энергию. Тем не менее сама по себе ПОЭ не может рассматриваться как решение таких проблем, но должна встраиваться в единую систему управления твердыми отходами, адаптированную к конкретным местным условиям с точки зрения состава отходов, их сбора и вторичной переработки, доли теневого сектора в экономике, экологических проблем, финансирования, стоимости ресурсов и других аспектов.

В этой главе подчеркивается, почему существует настоятельная необходимость улучшения управления отходами в городах, как УТБО встраивается в концепцию безотходной экономики, и какие распространенные неправильные представления и проблемы препятствуют развитию ПОЭ.

1 Генеральная Ассамблея ООН приняла 17 ЦУР 25 сентября 2015 г., см. <https://sustainabledevelopment.un.org/>

2 Новый план развития городов был принят на конференции Организации Объединенных Наций по жилью и устойчивому городскому развитию (Хабитат III), состоявшейся с 17 по 20 октября 2016 года в Кито, Эквадор, см. <https://habitat3.org/the-new-urban-agenda>



Увеличение количества отходов является проблемой, но также имеет потенциал для восстановления ресурсов.



Строящийся цементный завод.

1.1 Урбанизация и новые проблемы в области управления отходами

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ: 21-й век будет веком городов.

21-й век будет веком городов. Городское население мира быстро росло с 1950 года с 746 миллионов до 3,9 миллиарда в 2014 году [2]. По данным ООН, ожидается, что к 2050 году этот показатель возрастет до 9,7 миллиарда человек, причем почти 90 процентов этого прироста придется на городские районы Африки и Азии.

Уже сегодня, мировые объемы твердых бытовых отходов оцениваются в 2 млрд. тонн в год. В отличие от прогнозов по численности мирового населения и тенденциям урбанизации на сегодняшний день нет прогнозов ООН по будущим количествам образования отходов на душу населения [1]. Однако существует общее понимание того, что количество отходов существенно возрастет. Движущими факторами роста количества отходов являются увеличение потребления товаров растущим городским населением, изменения в образе жизни и повышение благосостояния растущего среднего класса. На рисунке 1 показано резкое увеличение количества отходов в городских районах в период до 2050 года.

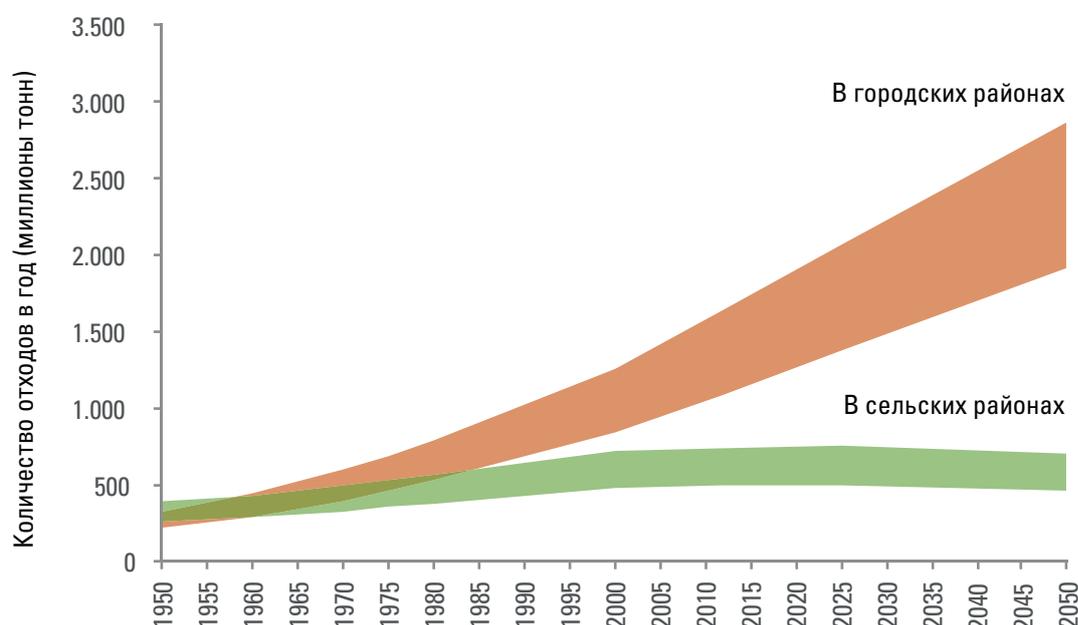


Рисунок 1: Прогноз развития количества городских и сельских отходов в мире, 1950-2050 годы. На основе данных ООН [3] [4] [5] [6] и ежедневного производства отходов на душу населения от 0,8 до 1,2 кг в городских районах и от 0,4 до 0,6 кг в сельских районах.

По данным Международного энергетического агентства, в течение следующих двадцати лет темпы образования отходов в странах с низким уровнем дохода более чем удвоятся [7]. Независимо от точности этих прогнозов, такие колоссальные объемы отходов будут представлять собой огромную проблему для многих местных городских властей, которые уже едва справляются с управлением текущими количествами отходов.

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ: Захоронение отходов является промежуточным или переходным, но все же необходимым решением утилизации отходов. Однако это решение не является конечной целью устойчивого управления отходами. Системы УТБО должны продолжать уделять приоритетное внимание вторичной переработке материалов.

На сегодняшний день около 70% ТБО все еще попадает на полигоны или неконтролируемые свалки, которые часто загрязняют поверхностные воды, грунтовые воды или почву и выделяют парниковые газы [8]. Утилизация отходов вблизи береговой линии и вдоль рек создает опасность загрязнения морской среды прибрежной зоны. Захоронение более не считается современной технологией утилизации отходов. Хотя существуют хорошие примеры управления санитарно-техническими полигонами (СТП) с существенно уменьшенным негативным воздействием на окружающую среду, поиск новых участков обустройства СТП часто сопровождается общественными протестами, и участки для обустройства новых СТП редко имеются в наличии вблизи мегаполисов или городских центров из-за нехватки земли, сопровождающегося конфликтами землепользования и быстрого роста цен на землю. Надлежащая переработка и утилизация отходов по-прежнему сопряжены с большими трудностями и зачастую являются непосильным бременем для многих муниципалитетов. Срочно необходимы стимулы для уменьшения отходов и увеличения объемов вторичной переработки. Сортировка у источника, сбор, транспортировка, переработка и надлежащая утилизация ТБО стали правовой целью во многих развивающихся странах и странах с переходной экономикой. Однако, несмотря на значительный прогресс, достигнутый в последние десятилетия в области вторичной переработки «классических» материалов, таких, как бумага, металл, стекло или пластик, нынешние уровни вторичной переработки по-прежнему недостаточны.

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ: Для отдельных потоков безвозвратных отходов ПОЭ может стать жизнеспособной альтернативой управления растущим количеством отходов в ближайшие годы при условии соблюдения экологических стандартов и тщательного рассмотрения социальных аспектов.

1.2 Отходы в энергию: соблазн для муниципалитетов

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ: Решение проблемы переработки отходов в энергию означает переход на новый уровень сложности и без того сложной ситуации в области управления отходами.

Растущая обеспокоенность в связи с сокращением природных ресурсов, вкладом ненадлежащего управления отходами в глобальное потепление и нехваткой электроэнергии вызвали дискуссии об отходах как о ресурсе в целом, так и о концепциях ПОЭ в частности. Принимающие решения лица на национальном и местном уровне в развивающихся странах могут соблазниться посулами поставщиков технологий, обещающих, что установки ПОЭ способны решить их проблемы утилизации отходов, создать прибыльные бизнес возможности и повысить качество энергоснабжения. Отходы как таковые являются идеальным сырьем для повторного получения энергии. Однако до сих пор лишь ограниченное число проектов, реализованных в развивающихся странах и странах с переходной экономикой, имели успех в долгосрочной перспективе.

К настоящему времени накоплен определенный положительный опыт в области современной совместной переработки в цементных печах и улавливания свалочного газа на санитарно-технических полигонах. Однако на сегодняшний день едва ли найдутся успешно эксплуатируемые в промышленном масштабе анаэробные биореакторы на органических ТБО в развивающихся странах, также как существует всего несколько мусоросжигательных заводов, находящихся в непрерывной эксплуатации в развивающихся странах Африки или Азии. Альтернативные технологии, такие как пиролиз и производство газообразного горючего никогда не выходили за рамки пилотных проектов (даже в промышленно развитых странах) для смешанных фракций ТБО.

Рамочные условия в большинстве развивающихся стран и стран с переходной экономикой существенно отличаются от условий, в которых наблюдается рост и успешное применение проектов ПОЭ в Европе, Северной Америке, Японии и Китае, где все чаще встречаются энергетические установки ПОЭ коммунального назначения. Простая передача технологии часто оказывается безуспешной, так как она не соответствует условиям развивающихся стран, особенно в части финансовых требований, состава используемых материалов и местного потенциала. Тем не менее технологии ПОЭ могут улучшить управление отходами в быстрорастущих городах развивающихся стран и стран с переходной экономикой, но их применение является сложным и должно учитывать, среди прочего, следующие специфические обстоятельства:

- » Более низкая теплотворная способность ТБО по сравнению с промышленно развитыми странами из-за высокой влажности (высокое содержание органических веществ) и минерального содержания в отходах (например, зола, отходы строительства и сноса);
- » Существенное сезонное изменение состава отходов (т. е. изменение структуры потребления в периоды праздников, сезонные культуры);
- » Ограниченная практика сортировки отходов у источника, предпосылка для анаэробного сбраживания;
- » Слабые бизнес и операционные модели;
- » Отсутствие знаний об эксплуатации и техническом обслуживании установок ПОЭ;
- » Высокие инвестиционные и эксплуатационные расходы, которые не могут быть возмещены за счет существующих сборов за отходы и получаемого дополнительного дохода только от продажи энергии;
- » Игнорирование вопросов обеспечения средств к существованию для маргинализированных лиц и работников неформального сектора, зависящих от наличия пригодных для повторного использования отходов;
- » Отсутствие мониторинга и слабое соблюдение экологических стандартов, приводящие к проблемам общественного здравоохранения.

1.3 Переработка отходов в энергию и безотходная экономика

Основная концепция перехода к безотходной экономике заключается в замене существующей в основном линейной экономики, основанной на принципе «брать, производить и утилизировать», экономикой, в которой циркулирующие высокостоймые ресурсы позволяют избежать или сократить потребность в первичных ресурсах и сводя к минимуму остаточные отходы, загрязнители и выбросы. Основными движущими силами безотходной экономики являются растущая волатильность цен и ограничение предложения первичных ресурсов, экологическая политика, такая как правила ответственности производителей и, возможно, изменение культуры потребления. На рисунке 2 показан принцип безотходной экономики, разработанный Фондом Эллен Макартур [9]. Линейная экономика проходит через центр, тогда как внутренние круги представляют собой меры, которые могут быть приняты с целью повышения безотходности биологических и технических материальных потоков.

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ: Целью современной системы управления отходами является не утилизация отходов, а обеспечение экономики вторичным сырьем и энергией из отходов.



Сортировка пригодных для вторичной переработки материалов представляет собой важный фактор обеспечения эффективности работы экономики.

после извлечения металлов остатки подлежат отдельной переработке и утилизации на безопасном полигоне. Если биологические материалы успешно отделяются от технических материалов, анаэробное сбраживание может играть важную роль в извлечении биогаза и компоста в биологическом цикле. Улавливание свалочного газа позволяет уменьшить выбросы метана из биологических материалов, отправляемых на полигоны отходов.

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ: Проекты ПОЭ не должны конкурировать с мерами по сокращению образования отходов и экономически эффективному повторному использованию и вторичной переработке материалов. ПОЭ представляет собой комплементарную технологию переработки получаемых после вторичной переработки безвозвратных фракций ТБО.

1.4 Мифы, сопровождающие переработку отходов в энергию

Извлечение энергии из ТБО играет важную роль в безотходной экономике при ее использовании для утилизации безвозвратных и опасных фракций отходов при условии соблюдения экологических стандартов и рассмотрения социальных аспектов с должным вниманием. Однако интегрирование технологий извлечения энергии из ТБО в развивающихся странах и странах с переходной экономикой все еще находится на начальном этапе. Ответственные решения могут быть предложены некоторыми фирмами, несмотря на предвзятость и непрозрачность многих дискуссий по этой теме. Важно знать несколько распространенных мифов, которые сохраняются вокруг переработки отходов в энергию и могут быть использованы не имеющими необходимого опыта компаниями, желающими извлечь легкую выгоду из бюджета муниципалитетов:

Миф 1: «Переработка отходов в энергию – простое решение, позволяющее избавиться от всех проблем с отходами в городе»

На самом деле, ситуация намного сложнее, и ПОЭ требует профессионального планирования, строительства и эксплуатации. К сожалению, на рынке работают несколько компаний, не имеющих необходимого опыта работы в развивающихся странах и странах с переходной экономикой. Принимающие решения лица, должны осознавать, что цель деятельности таких компаний состоит в продаже предлагаемого ими продукта, а не в решении местной проблемы.

Миф 2: «Расходы на эксплуатацию установки ПОЭ могут покрываться исключительно за счет продажи извлеченной энергии»

В Европе, где теплотворная способность отходов и цены на энергию выше, доходы от несубсидируемой продажи энергии (в виде тепла и энергии) могут покрывать эксплуатационные расходы, но никогда не будут достаточными для покрытия всех инвестиционных и капитальных затрат.

Миф 3: «Работающая установка ПОЭ способна удовлетворить значительную часть потребности города в энергии»

В действительности, энергия из бытовых отходов способна покрыть лишь небольшую долю общей потребности города в электроэнергии (~ 5%). Утилизация тепла является наиболее эффективным применением в Европе, но практически не используется в развивающихся странах.

Миф 4: «Из мусора можно делать золото, даже несортированные отходы можно продавать с прибылью, чтобы использовать для дальнейшего извлечения из них энергии и материалов»

В действительности, ПОЭ не является бизнес-моделью, которая генерирует доходы, покрывающие расходы. Доходы от продажи энергии помогают покрыть часть общих расходов на термическую обработку, но для покрытия всех расходов требуются дополнительные проходные пошлины или другие формы доходов. Во всех странах управление отходами в целом сопряжено с издержками и не может рассматриваться в качестве прибыльного бизнеса, который может зависеть исключительно от продажи энергии, получаемого из отходов топлива и вторичной переработки материалов по текущим ценам на эту продукцию.

Миф 5: «Квалифицированные и опытные международные компании выстраиваются в очередь, чтобы инвестировать и эксплуатировать крупные установки ПОЭ на свой страх и риск в развивающихся странах и странах с переходной экономикой»

Это верно лишь отчасти, поскольку опытные международные компании в настоящее время неохотно вкладывают средства в развитие ПОЭ в развивающихся странах и странах с переходной экономикой. Правовые, финансовые и репутационные риски высоки, и любой проект частного сектора должен быть приемлемым в качестве банковского обеспечения.

Эти мифы зачастую поддерживаются намеренно и могут препятствовать ведению основанных на реальных фактах обсуждений. Настоящее руководство призвано предоставить исчерпывающую информацию для принимающих решения лиц с тем, чтобы помочь им реально развеять вышеупомянутые мифы. Дополнительный, полезный инструмент обзора для оказания помощи планировщикам в оценке качества технического и финансового предложения установки ПОЭ был разработан объединенной рабочей группой по управлению твердыми отходами в странах с низким и средним уровнем дохода и носит название «Средство ОРГ для быстрой оценки переработки отходов в энергию», 2016 г. [10]. Этот инструмент доступен в Интернете.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В ЭНЕРГИЮ

В этой главе рассматриваются основные условия, которые должны быть выполнены при рассмотрении ПОЭ в качестве жизнеспособного дополняющего варианта существующей системы УТБО. ПОЭ не может рассматриваться как изолированный выбор технологий, а должна вписываться в интегрированную концепцию УТО, в которой предупреждение образования отходов и вторичная переработка материалов являются предпочтительным решением. В различных подразделах рассматриваются конкретные ситуации, излагаются минимальные технические и эксплуатационные требования и дается обзор экологических, правовых и экономических рамок условий.

2.1 Характеристики бытовых отходов

Городской житель развивающейся страны или страны с переходной экономикой производит в среднем от 100 до 400 кг ТБО в год (см. Рисунок 3). Причины такого широкого диапазона и большой неопределенности кроются в различных уровнях экономического развития и потребления, а также в определении количества образующихся отходов. В некоторых статистических данных используется общий расчетный объем отходов на душу населения, включая все вторично перерабатываемые материалы. Другие рассматривают только отходы, управляемые соответствующими местными органами власти, и, таким образом, исключают, например, ценные материалы, отсортированные и собранные у источника неформальным сектором. Часто отдельный сбор вторсырья, такого как стеклянные бутылки, газеты, ПЭТ бутылки или банки производится до того, как вторсырье достигнет формального потока отходов, за который отвечает муниципалитет. Как следствие, муниципалитетам приходится иметь дело с «оставшейся» фракцией отходов, характеризующейся высокой неоднородностью, высоким содержанием органических веществ и низкой теплотворной способностью. Эти факторы неопределенности с точки зрения количества и качества должны быть тщательно учтены при планировании решений в области ПОЭ, а также социальных последствий для неформального сектора, когда предполагается изменение существующей системы переработки и первичного сбора.

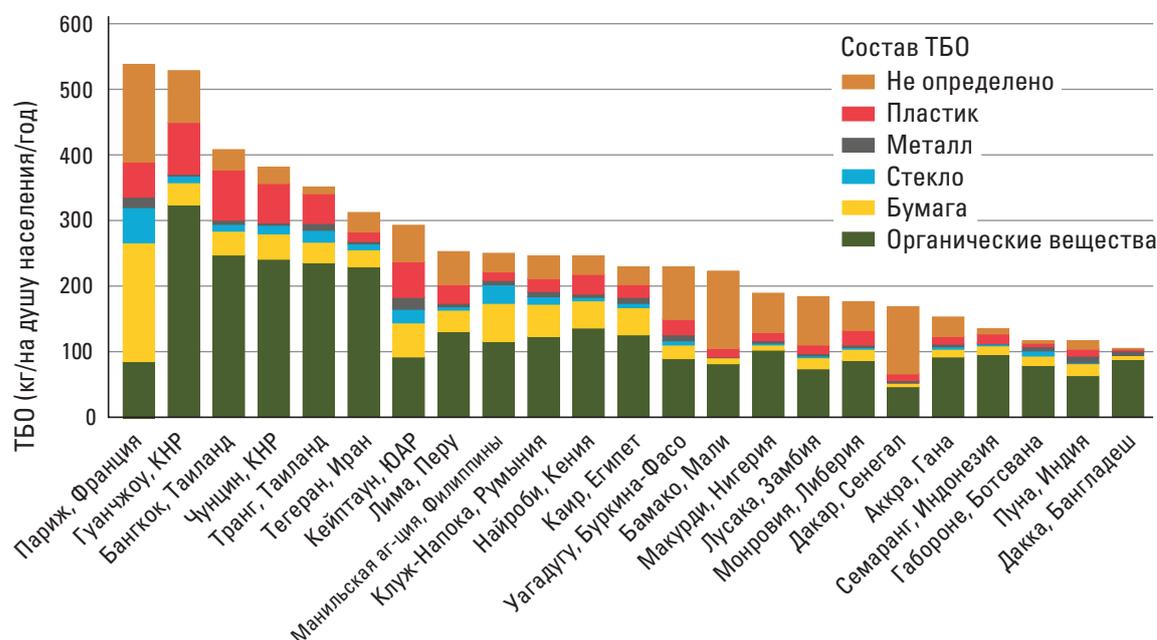


Рисунок 3: Состав ТБО на душу населения (кг/на душу населения/год) в различных городах мира [11].

В большинстве развивающихся стран органические отходы с высоким содержанием влаги являются наиболее значимой фракцией, которая попадает в формальный поток отходов, подлежащий переработке. В городах с высокой строительной активностью и без раздельного сбора отходов строительства и сноса ТБО также имеют высокую долю инертного материала.

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ: Смешанные твердые бытовые отходы в развивающихся странах по своей природе отличаются от твердых бытовых отходов промышленно развитых стран и имеют специфические особенности в каждом городе. Эти различия должны учитываться при проведении любых технологических оценок.



Органические отходы часто являются самой крупной фракцией отходов в развивающихся странах.

2.2 Правовые рамки и воздействие на окружающую среду

Управление отходами в целом и ПОЭ в особенности должны осуществляться в рамках эффективной нормативно-правовой базы. Правовая база необходима по следующим нескольким причинам: во-первых, закон гарантирует правовую определенность. Соответствующие заинтересованные стороны — административные органы, производители отходов, компании по переработке и утилизации отходов, граждане и т. д., должны точно знать свои функции и обязанности. Только подробные юридически обязательные правила могут обеспечить надлежащую основу для достижения этих целей. Законность административных действий также зависит от правовых норм. Кроме того, нормы выбросов и другие экологические предписания в отношении ПОЭ требуют законодательного закрепления и регулярного контроля со стороны компетентных и соответствующим образом подготовленных государственных органов.

Природоохранное рамочное законодательство и национальный закон «Об отходах» должны определять цели и основные правила деятельности по переработке ТБО в энергию, включая принципы ограничения выбросов. В частности, природоохранное рамочное законодательство должно предусматривать:

- » **Планирование и проведение тендеров:** Как правило, при планировании новых объектов инфраструктуры должны соблюдаться национальные стандарты. Однако при рассмотрении вариантов ПОЭ рекомендуется применять международно признанные нормы выбросов и безопасности для любого тендерного процесса с целью минимизации рисков для принимающих решения лиц.
- » **Обязательства операторов:** Законодательством должно предусматриваться прохождение установками ПОЭ процесса оценки воздействия на окружающую среду и сертификации в соответствии с национальным законом о контроле за выбросами и/или отходами.
- » **Необходимые предварительные условия для получения разрешения:** В целом в законе должны быть предусмотрены обязательства операторов установок по обеспечению того, чтобы такие установки или прилегающие к ним объекты не оказывали вредного воздействия на окружающую среду, не представляли иных опасностей, не наносили значительного ущерба и не причиняли значительных неудобств для жителей населенных пунктов и окрестностей.
- » **Стандарты безопасности и охраны окружающей среды:** Пороговые значения выбросов и требования безопасности должны контролироваться на основе юридически обязательных стандартов. Предельные значения выбросов, установленные для ПОЭ, должны соответствовать международно признанным и применяемым стандартам. Применение низких и неадекватных экологических стандартов приведет к дополнительным опасностям для здоровья населения и экологическим издержкам.
- » **Контроль за соблюдением норм безопасности и охраны окружающей среды:** Контроль является основной обязанностью компетентного и независимого регулирующего органа. Национальные законы должны устанавливать стандарты качества воздуха и обеспечивать их соблюдение вблизи установок ПОЭ.

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ: Во многих странах правовая база для ПОЭ, включая проектирование, утверждение, эксплуатацию и мониторинг, является слабой или вообще отсутствует. Должна быть обеспечена применимая правовая база, и меры по обеспечению ее соблюдения должны находиться в процессе разработки, прежде чем любой завод ПОЭ будет считаться построенным и эксплуатируемым.

В большинстве развивающихся стран и стран с переходной экономикой существует природоохранное законодательство. Однако во многих случаях конкретные положения, касающиеся заводов ПОЭ, отсутствуют или носят весьма общий характер и не обеспечивают необходимой правовой базы для проектирования и утверждения, ни для эксплуатации и мониторинга. Это относится и к процессу обеспечения соблюдения правовой базы, когда в большинстве случаев для выполнения этой задачи не имеется ни квалифицированного персонала, ни финансовых ресурсов. Если правовая база отсутствует, опыт промышленно развитых стран мог бы послужить основой для ее разработки. Например, европейская директива по промышленным выбросам (2010/75/ЕС) [12] может служить примером для установления предельных значений выбросов при сжигании.

2.3 Финансовые и институциональные аспекты энергетических установок по переработке отходов в энергию (ПОЭ)

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ: Проекты ПОЭ являются дорогостоящими и представляют собой существенный финансовый риск для муниципалитета. Независимая оценка затрат и глубокое понимание финансовых последствий имеют крайне важное значение для принятия решений.

Проекты ПОЭ требуют значительных инвестиций не только для самого процесса переработки, но и для снижения эксплуатационных рисков (аварий, пожаров и т. д.). Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание установок ПОЭ значительно выше по сравнению с затратами на эксплуатацию и техническое обслуживание санитарно-технических полигонов. Надежное и постоянное финансирование является ключевым условием работоспособности системы УТБО. Муниципалитет должен обеспечить выполнение финансовых требований. Поскольку зачастую это невозможно сделать исключительно за счет взимаемых тарифов за переработку отходов, следует рассмотреть дополнительные возможности финансирования. Ниже приведены примеры источников получения дохода:

- » Прямые сборы с граждан за отходы;
- » Перекрестное финансирование услуг по переработке ТБО через другие местные сборы или налоги;
- » Взимание проходных пошлин в случае доставки на завод;
- » Доходы от продажи переработанных материалов и извлекаемой энергии (электроэнергии, тепла/ пара);
- » Местные или национальные субсидии;
- » Доходы от национальных или международных углеродных фондов (например, от Зеленого климатического фонда);
- » Возврат налогов и применение специальных льготных тарифов на электроэнергию, произведенную из нетрадиционных источников, таких как отходы.

Особенно следует тщательно рассмотреть два последних варианта, поскольку они могут обеспечить определенную долгосрочную гарантию муниципалитету или частному инвестору.

ОСНОВНАЯ ИДЕЯ: Обоснованная финансовая, социальная и техническая концепция, позволяющая покрывать расходы по эксплуатации установок ПОЭ, а также адекватная институциональная структура являются необходимыми предварительными условиями и ключом к устойчивому управлению любой интегрированной системой УТО.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В ЭНЕРГИЮ

В этой главе дается обзор пяти технологий ПОЭ в муниципальном масштабе (см. Рисунок 4): сжигание, совместная переработка, анаэробное сбраживание, улавливание свалочного газа и пиролиз/производство газообразного горючего (далее также называемые альтернативными технологиями). При сохранении общих принципов, описанных в последних двух главах, эти пять технологий имеют различные функции и применения в системе управления бытовыми отходами. Порядок применения технологий основан на предполагаемом спросе на консультации по этим технологиям и не предполагает какого-либо приоритета или применимости.

По каждой технологии приводится некоторая техническая справочная информация, за которой следует перечень пригодных для переработки видов отходов и сопутствующих эксплуатационных, экологических, правовых и финансовых вопросов. Читатель должен получить общее представление о том, какая технология лучше всего подходит для каждого конкретного потока отходов, а также об экологических, правовых и финансовых последствиях ее реализации.

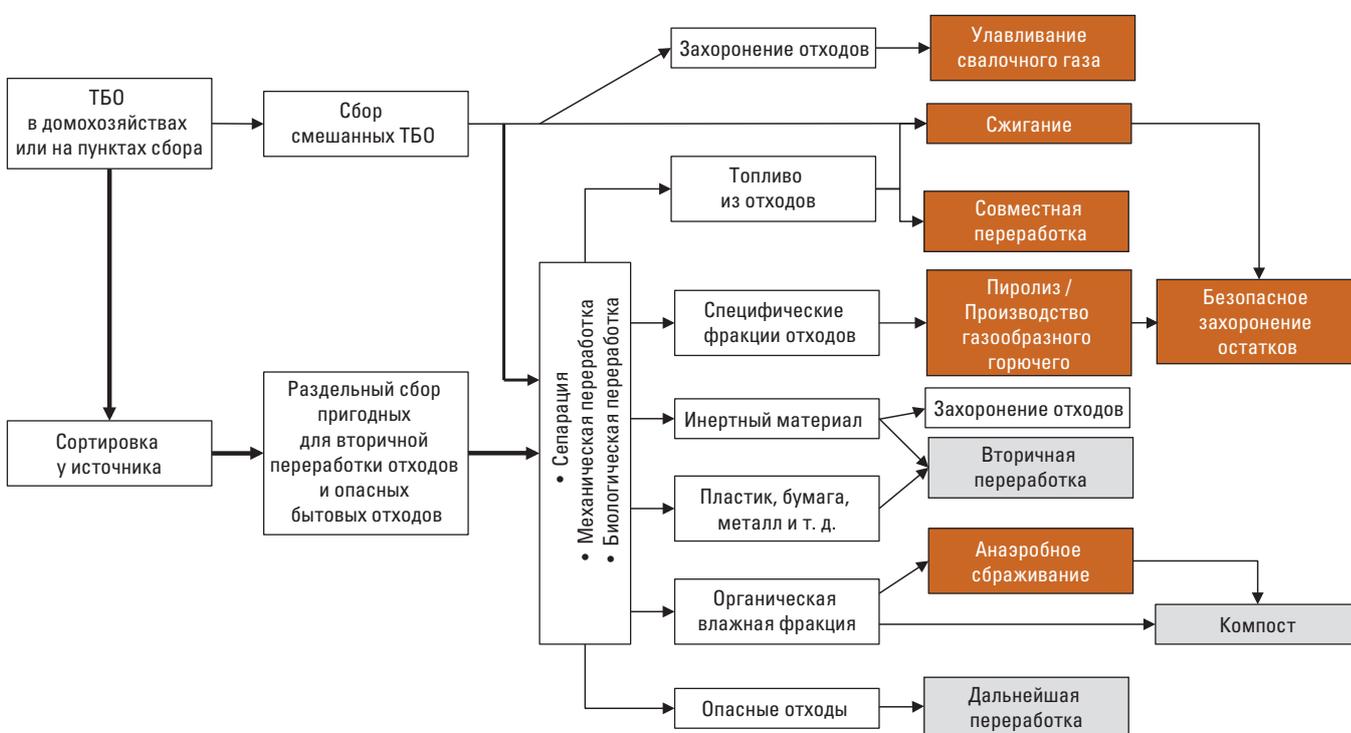


Рисунок 4: Обзор потока ТБО и его различных вариантов утилизации и переработки. Раздельный сбор потоков отходов делает повышает эффективность применения различных видов переработки.

Подробное описание существенных различий и специфики технологий ПОЭ представлено в нескольких публикациях, опубликованных различными заинтересованными сторонами (см. ссылки и разделы дополнительной литературы). Некоторые из них также содержат анализ необходимых предпосылок, таких, как вопросы рыночной, политической, нормативной и финансовой устойчивости. Эти документы являются бесценным источником информации, особенно для технических экспертов и исполнителей. Однако многие из этих документов допускают, что предварительные условия могут быть легко выполнены (например, принудительная оплата сборов за отходы, почти 100% раздельный сбор органических отходов на пороге домохозяйств или наличие необходимой правовой базы), тогда как риски реализации в местных условиях часто не получают должного внимания.

3.1 Сжигание твердых бытовых отходов

Сжигание твердых бытовых отходов (СТБО) представляет собой сжигание отходов в контролируемом процессе на специально построенном для этой цели объекте. Основная цель СТБО состоит в том, чтобы уменьшить объем и массу ТБО, а также сделать отходы химически инертными в процессе горения без необходимости дополнительного топлива (автотермическое сжигание). В качестве сопутствующего эффекта СТБО также позволяет извлекать энергию, минералы и металлы из потока отходов [13]. Как правило, получаемые при сжигании остатки в виде шлака (топочной) и летучей золы составляют около 25% первоначального количества отходов. Топочная зола состоит из мелких частиц, опадающих на дно мусоросжигателя в процессе горения, тогда как летучая зола состоит из мелких частиц, содержащихся в отходящих газах и подлежащих удалению путем очистки дымовых газов. Эти остатки требуют дополнительного внимания, а в случае опасной летучей золы - безопасного места для окончательного удаления.

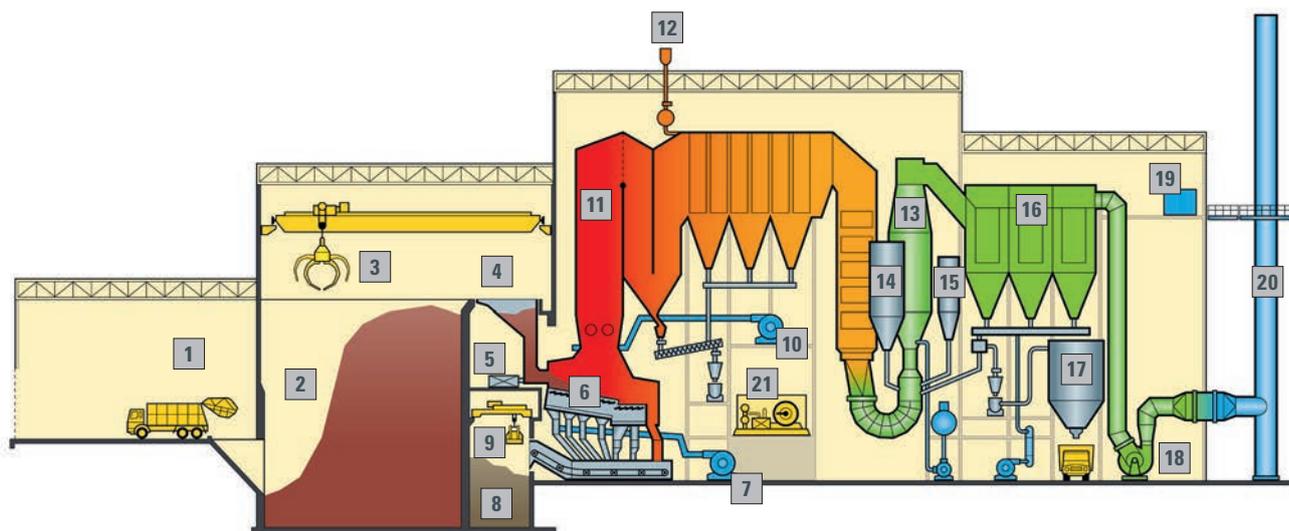
3.1.1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

Горючие материалы отходов сгорают, когда достигают необходимой температуры воспламенения и вступают в контакт с кислородом, подвергаясь реакции окисления. Температура реакции окисления составляет от 850 до 1450 °С, а процесс сгорания происходит в газовой и твердой фазах с одновременным выделением тепловой энергии. Минимальная теплотворная способность отходов необходима для обеспечения термической цепной реакции и самоподдерживающегося горения (так называемого «автотермического горения»), т. е. не требующего добавления других видов топлива.

Во время сжигания образуются отходящие газы, которые после очистки выпускаются в атмосферу по трубе или каналу, называемому дымоходом. Эти дымовые газы содержат большую часть доступной энергии топлива в виде тепла, а также пыли и газообразных загрязнителей воздуха, которые должны быть удалены в процессе очистки дымовых газов. Избыточное тепло от сжигания может использоваться для производства пара для выработки электроэнергии, централизованного теплоснабжения/охлаждения или подачи пара для близлежащих объектов перерабатывающей промышленности (компоненты процесса СТБО показаны на Рисунке 5). Оптимальная эффективность установок одновременной выработки тепловой энергии (отопление и охлаждение) может достигать 80%, в то время как максимальная эффективность выработки электроэнергии составляет около 20%.



Завод по сжиганию ТБО в Европе.



ДОСТАВКА ОТХОДОВ

- 1 Разгрузочный зал
- 2 Бункер отходов
- 3 Кран перемещения отходов
- 4 Загрузочный лоток отходов

СЖИГАНИЕ

- 5 Толкатель
- 6 Решетка сжигания
- 7 Вентилятор первичного воздуха
- 8 Бункер топочной золы
- 9 Кран топочной золы
- 10 Вентилятор вторичного воздуха
- 11 Паровой котел
- 12 Предохранительный клапан котла

ОЧИСТКА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

- 13 Реактор дымовых газов
- 14 Гашеная известь
- 15 Активированный уголь
- 16 Рукавный фильтр
- 17 Бункер остатков (летучей золы)
- 18 Дымосос
- 19 Система мониторинга выбросов
- 20 Дымовая труба

ПОВТОРНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ

- 21 Паровая турбина / генератор

Рисунок 5: Компоненты завода по сжиганию ТБО с системой очистки дымовых газов.

Рисунок предоставлен: Компанией Doosan Lentjes GmbH [14].

3.1.2 ПОДХОДЯЩИЕ ФРАКЦИИ ОТХОДОВ

СТБО предназначено для переработки смешанных и не подвергшихся предварительной переработке бытовых отходов и некоторых видов промышленных и коммерческих отходов. Ключевым параметром является энергосодержание, так называемая «низшая теплотворность» (НТ), выражаемая в МДж/кг. Для обеспечения автотермического горения НТ отходов должен быть не ниже 7 МДж/кг в среднем за год [15] (для сравнения: НТ 1 кг котельного топлива составляет около 40 МДж/кг). В развивающихся странах НТ неотсортированных ТБО часто ниже этого порогового уровня из-за преобладающего содержания органических веществ с высокой влажностью и значительного уровня инертных фракций отходов, таких как зола или песок.

Предварительная сортировка пригодных для вторичной переработки отходов влияет на характеристики остаточных отходов, как показано в Таблице 1 ниже.

Удаляемая фракция	Основное воздействие удаления на остаточные отходы
Стекло, металлы, зола, минералы из отходов строительства и сноса	Повышение теплотворной способности Снижение количества шлака и извлекаемых металлов
Бумага, картон и пластик	Снижение теплотворной способности Снижение содержания хлора (например, от ПВХ) в выбросах
Органические отходы с кухонь и садов	Снижение содержания влаги Повышение теплотворной способности
Крупногабаритные отходы	Сокращение трудозатрат на измельчение отходов
Опасные отходы (например, батарейки, электронные устройства)	Сокращение трудозатрат на извлечение токсичных летучих тяжелых металлов из выбросов в атмосферу (например, ртути) Снижение концентрации токсичных примесей в шлаке и летучей золе (таких как кадмий, свинец, цинк)

Таблица 1: Влияние предварительной сортировки пригодных для вторичной переработки отходов на сжигание.

3.1.3 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Эксплуатация технически сложных сжигателей ТБО требует хорошо развитых технических и управленческих навыков. Их эксплуатация гораздо сложнее, чем эксплуатация санитарно-технического полигона. Требования: непрерывная цепочка поставок ТБО, непрерывная подача гомогенизированной смеси отходов в камеру сгорания, регулировка и контроль технологических параметров и параметров выбросов, плановое техническое обслуживание, закупка вспомогательных материалов и запасных частей, гарантированное энергоснабжение прямых потребителей, управляемая утилизация или дальнейшее использование остатков технологического процесса и т. д. Необходимо обеспечить поддержание на высоком уровне охраны здоровья и безопасности труда, а также регулярных контактов с природоохранными и муниципальными органами, местными общинами, гражданским обществом и другими субъектами. Важным фактором, повышающим вероятность получения надежных доходов, является выбор местоположения сжигателя ТБО, при котором может быть обеспечено круглогодичное использование тепловой энергии (отопление или охлаждение) или вырабатываемой электроэнергии. По этой причине сжигатели ТБО должны размещаться в промышленных парках на небольшом расстоянии от источников отходов.

Только руководители, инженеры и техники с подтвержденной квалификацией и опытом должны назначаться на ключевые должности на заводах по сжиганию ТБО. В случае отсутствия персонала с необходимой квалификацией на местном уровне международные эксперты должны наниматься на работу на основе долгосрочных контрактов с одновременным запуском программы развития и наращивания потенциала.

3.1.4 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Назначение сжигателей ТБО заключается в содействии общему сокращению воздействия на окружающую среду, которое в противном случае могло бы значительно возрасти в результате несанкционированных свалок, открытого сжигания или захоронения отходов. Сокращение объемов отходов путем сжигания позволяет экономить ценные участки, используемые для обустройства полигонов отходов, а также способствует охране окружающей среды. Часть извлекаемой энергии также можно считать углеродно-нейтральной с учетом содержания биомассы в ТБО. Тем не менее сжигатели ТБО также производят большое количество дымовых газов, требующих очистки, даже при сжигании отходов в оптимальных условиях сгорания. Во избежание необратимых рисков для здоровья местного населения и состояния окружающей среды необходимо обеспечить соблюдение международных норм выбросов, а также непрерывный мониторинг и отчетность о выбросах. Дымовые газы содержат пыле- и газообразные загрязняющие вещества, такие как хлористый водород (HCl), фтористый водород (HF) и двуокись серы (SO₂). Ряд соединений, содержащих ртуть, диоксины или диоксид азота (NO₂), может быть удален только с использованием высокотехнологичных химических процессов, которые существенно увеличивают стоимость проекта. Основными экологическими аспектами являются [13]:

- » Контроль и мониторинг технологических выбросов в атмосферу и воду (включая запах);
- » Качество и потенциал использования производства шлака (например, уровни загрязнения тяжелыми металлами);
- » Безопасная утилизация или вторичная переработка опасных остатков летучей золы;
- » Технологический шум и вибрации;
- » Потребление воды и другого сырья (реагента);
- » Летучие выбросы – в основном в зоне хранения отходов;
- » Риски хранения/обращения/переработки опасных отходов.

3.1.5 ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ

Надо полагать, что экологическое законодательство в большинстве развивающихся стран не содержит положений, однозначно регулирующих применение технологий сжигания ТБО. Это обстоятельство делает весь процесс оценки воздействия и лицензирования операций более сложным и трудоемким. Если всеобъемлющие и юридически обязательные стандарты отсутствуют, то такие стандарты должны быть разработаны и применены на практике в соответствии с международно признанными стандартами. Примером для ориентации может служить Европейская директива по сжиганию отходов (Директива по промышленным выбросам 2010/75 /EU, [12]). Также необходим контроль и обеспечение соблюдения введенных в действие стандартов в рамках государственных учреждений.

3.1.6 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

СТБО требует значительных капиталовложений и должно поддерживаться долгосрочным финансовым планированием и достаточными ресурсами для обеспечения непрерывной работы и технического обслуживания завода. Развивающиеся страны могут иметь первоначальные инвестиционные фонды; однако финансовые ресурсы для этапа эксплуатации зачастую не учитываются надлежащим образом. Чтобы сравнить и оценить финансовую устойчивость функционирования технологии СТБО, первоначальные инвестиционные затраты и ожидаемые эксплуатационные затраты должны быть рассчитаны в годовом выражении. Для расчета чистых затрат любые годовые доходы от продажи энергии и материалов могут быть вычтены из годовых капиталовложений и эксплуатационных затрат для получения общей стоимости тонны отходов на основе ежегодно обрабатываемых отходов. Такая оценка показана в Таблице 2 для завода СТБО с мощностью переработки 150000 метрических тонн отходов в год. Из таблицы видно, что рыночные доходы только от продажи энергии и материалов не покроют полностью годовые затраты завода, а ожидаемые чистые затраты в размере от 40 до 80 евро за метрическую тонну отходов должны быть покрыты другими финансовыми средствами. Дополнительные поступления от проходных пошлин, государственных субсидий или других фондов необходимы для обеспечения полного покрытия этих расходов и устойчивого финансирования операций в долгосрочной перспективе.

Следует понимать, что технологии мусоросжигания являются более дорогостоящими по сравнению с ранее применявшимися методами захоронения отходов, что может привести к тому, что производители отходов могут предпочесть существующие методы удаления отходов. Несмотря на существование относительно реалистичных смет расходов по удалению отходов в промышленно развитых странах, в настоящее время трудно представить репрезентативную информацию о расходах для развивающихся стран. Инвестиционные и эксплуатационные расходы, перечисленные в таблице 2, дают приблизительные цифры, полученные из различных источников во всем мире, и поэтому их следует понимать только как ориентировочные.

Риски недорогих заводов по СТБО: Высокие первоначальные инвестиционные затраты, как правило, являются серьезным препятствием для разработки проектов СТБО в развивающихся странах. Предпринимаются попытки вывести на рынок низкозатратные проекты СТБО с базовым техническим стандартом для стран с низким уровнем дохода, однако пока еще имеется ограниченный опыт применения этих решений, и еще предстоит выяснить, смогут ли эти установки успешно соответствовать необходимым техническим стандартам и стандартам выбросов в долгосрочной перспективе. Малозатратные установки могут существенно отличаться от установок, применяемых в странах с высоким уровнем дохода, например, при отсутствии технических резервных систем, таких как насосы, трубопроводы, электронные системы управления, резервная печь или соответствующие системы фильтрации дымовых газов. Другие возможности экономии инвестиционных затрат могут заключаться в использовании низкокачественных марок стали для высоконапряженных компонентов на заводе, таких как печь или корпус завода. В результате, риск незапланированных сбоев и более длительных простоев увеличивается из-за отсутствия резервных систем, в то время как критические компоненты могут страдать от сильной коррозии и привести к более короткому сроку службы завода. Это может значительно увеличить затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, а также

снизить коэффициент использования и доходы от переработки отходов или продажи энергии. Следовательно, непрерывное энергоснабжение не будет обеспечено (например, подача пара на промышленные объекты), и в худшем случае завод может быть не пригоден к эксплуатации всего через пару лет после пуска. Поэтому крайне важно провести критическую оценку стоимости и финансовой основы, а также обеспечить наличие ясных договорных соглашений и гарантий, содержащих ясное указание заинтересованной стороны, несущей риски в проекте. Опыт также показывает необходимость реализации таких проектов в рамках достаточно совершенных систем управления отходами. Если входной состав отходов отличается от состава отходов, для которого был спроектирован завод (например, более низкая НТ), быстро деградирующие компоненты завода не смогут гарантировать соответствие завода международным стандартам выбросов.



Вид мусоросжигательной решетки снаружи (слева) и изнутри (справа).

Ежегодные капитальные затраты: Ежегодные капитальные затраты рассчитываются на основе первоначальных инвестиций, требуемой процентной ставки для таких инвестиций (например, 6% в год) и ожидаемого срока службы объекта (например, 15-20 лет). Крупные заводы требуют более высоких абсолютных первоначальных инвестиций по сравнению с более мелкими заводами, но имеют более низкие удельные годовые затраты на тонну обработанных отходов из-за экономии масштаба. Такое изменение стоимости не следует линейной зависимости от количества обрабатываемых отходов. Строительство второй линии мусоросжигательной печи приводит к увеличению объема инвестиций всего приблизительно на 35% по сравнению с одной печью. Если завод по СТБО обеспечивает подачу электрической и тепловой энергии, например, в виде пара для промышленных объектов, то вторая мусоросжигательная печь может повысить безопасность и сократить время простоя. Объем инвестиций также зависит от применяемых технологий сжигания и очистки дымовых газов, количества резервных технических систем, корпуса завода и вспомогательных сооружений и т. д. Технологическое отопление или централизованное холодоснабжение требуют дополнительных инвестиций, но также повышают общую энергоэффективность завода по СТБО. Во многих случаях расходы на землю не учитываются, поскольку предполагается, что муниципалитеты предоставляют землю бесплатно. Такое предположение может привести к возникновению правовых проблем и финансовых трудностей, если не будет должным образом учтено с самого начала.

Ежегодные эксплуатационные расходы: Эксплуатационные расходы включают в себя в основном расходы на персонал, вспомогательные материалы (например, химикаты для очистки дымовых газов), запасные части и техническое обслуживание, страхование и налоги, электроэнергию, а также расходы на утилизацию остатков, таких как шлак или летучая зола (в некоторых случаях шлак может использоваться в дорожном строительстве). Следует также рассмотреть возможные расходы на дополнительную обработку отходов (например, отделение нежелательной фракции отходов, такой как инертный материал). Процесс сбора отходов не рассматривается в данном руководстве, но, несмотря на это, требует надлежащей организации и финансирования для достижения высоких показателей утилизации.

Удельные инвестиционные и эксплуатационные затраты на тонну отходов уменьшаются по мере увеличения мощности завода и коэффициента использования. Таким образом, мощность завода должна по возможности превышать 100000 тонн в год для достижения оптимальной экономии с учетом средних расстояний сбора.

Доходы: Получаемые доходы от продажи энергии зависят от цен на электроэнергию и технологическое тепло, эффективности работы завода и НТ отходов. Другими доходами от извлекаемых материалов в целом можно пренебречь. Поскольку сами по себе полученные рыночные доходы являются недостаточными для покрытия всех расходов, требуются дополнительные проходные пошлины и субсидии.

Оценка затрат на строительство завода по СТБО в промышленно развитых и развивающихся странах (указанные цифры являются ориентировочными)

Производительность сжигания: 150000 т/г	Первоначальные инвестиции	Капитальные затраты на тонну поступающих отходов	Расходы на эксплуатацию и техобслуживание на тонну мусора	Общая стоимость переработки тонны отходов	Доход от продажи энергии на тонну мусора	Покрываемые расходы на тонну поступающих отходов
Базис стоимости в ЕС (передовое техническое оснащение, 2 линии мусоросжигательных печей)	135 - 185 миллионов евро	80 - 115 евро/т	180 евро/т	260 - 295 евро/т	60 евро/т (тепло и электричество) 27 евро/т (электричество)	200 - 235 евро/т
Базис стоимости в развивающихся странах (базовое техническое оснащение, 1 линия печи)	30 - 75 миллионов евро	22 - 55 евро/т	20 - 35 евро/т	42 - 90 евро/т	2 - 10 евро/т (electricity)	40 - 80 евро/т

Таблица 2: Пример смет расходов на строительство завода по СТБО с учетом затрат в промышленно развитых и развивающихся странах. Затраты получены на примере швейцарского завода по СТБО с высоким техническим стандартом и были скорректированы на завод по сжиганию ТБО в базовой комплектации для развивающихся стран. Так например, инвестиционные затраты предполагаются в размере 20–40% от швейцарских расходов, стоимость технического обслуживания и вспомогательных материалов – в размере 20–50%, зарплата персонала и затраты на утилизацию шлака оцениваются в размере 10–20%, а страховые издержки – около 50%. Оба стандарта должны соответствовать национальным и международным стандартам выбросов. Основными отличиями являются архитектурное проектирование, количество линий печей, уровень автоматизации и качество применяемых на заводе материалов. Предположительные оценки: коэффициент использования 100% в течение 15-20 лет, процентная ставка 6% в год.

3.1.7 ВЫВОДЫ И ТРЕБОВАНИЯ

Сжигание мусора, как правило, может рассматриваться в качестве выполнимого варианта только в том случае, если могут быть гарантированы следующие аспекты:

- » Эффективная система управления отходами существует в течение ряда лет, и существующая в настоящее время нехватка земли требует альтернативного решения по части СТП для фракций отходов, не подлежащих переработке;
- » Основа для адекватной системы экологического мониторинга существует;
- » Соблюдаются нормы выбросов и другие экологические предписания;
- » Финансовые средства для покрытия дополнительных расходов по сравнению с захоронением отходов должны быть обеспечены;
- » Поставка горючих ТБО должна составлять не менее 100000 т/год;
- » НТ должна быть в среднем не менее 7 МДж/кг и никогда не опускаться ниже 6 МДж/кг;
- » После переработки шлак может использоваться в дорожном строительстве. Для безопасной и экологически безопасной утилизации летучей золы должен быть оборудован безопасный полигон;
- » Квалифицированный персонал может быть нанят и сохранен;
- » Найдены общий язык с населением, проживающим вблизи планируемого завода по СТБО, и его интересы учитываются с самого начала реализации проекта. Прозрачное общение и надлежащее взаимодействие являются обязательным предварительным условием.

3.2 Совместная переработка

Совместная переработка – это использование полученных из отходов материалов для замены природных минеральных ресурсов (*вторичная переработка материалов*) и/или традиционных видов ископаемого топлива, таких как уголь, мазут и природный газ (*рекуперация энергии*) в промышленных процессах. Совместная переработка применяется во всем мире в основном в цементной промышленности и на тепловых электростанциях; в некоторых случаях она также применяется в сталелитейной и известковой промышленности. В тепловых электростанциях, где происходит только рекуперация энергии, этот процесс называется «совместным сжиганием». В европейской цементной промышленности коэффициент теплового замещения традиционных видов топлива отходами может достигать до 80% на некоторых объектах (в среднем за год), в то время как средний показатель замещения по ЕС составляет около 39% [16]. Совместная переработка на цементных заводах также стала широко распространенной частью систем управления отходами в ряде развивающихся стран и стран с переходной экономикой. Тем не менее доля ТБО, используемых в совместной переработке, по-прежнему невелика по сравнению со специальными потоками отходов, такими, как использованные шины, опасные промышленные отходы, загрязненная почва, остатки биомассы или осадок с очистных сооружений.



Цементный завод с функциями совместной переработки (слева), вращающаяся цементная печь (в центре) и производимый клинкер (справа).

3.2.1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Совместная переработка требует относительно однородных потоков отходов с определенной характеристикой для обеспечения контролируемого сжигания. В результате различных процессов предварительной переработки отходы могут быть трансформированы в так называемое «топливо из отходов» (RDF), наряду с которым также используются АТСМ (альтернативное топливо и сырьевые материалы) и SRF (топливо из твердых отходов). На рисунке 6 представлена блок-схема завода механическо-биологической обработки (МБО) отходов в качестве примера предварительной переработки твердых бытовых отходов в топливо из отходов.

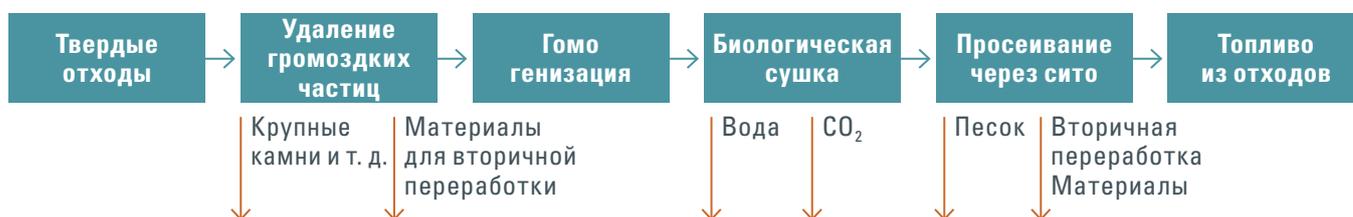
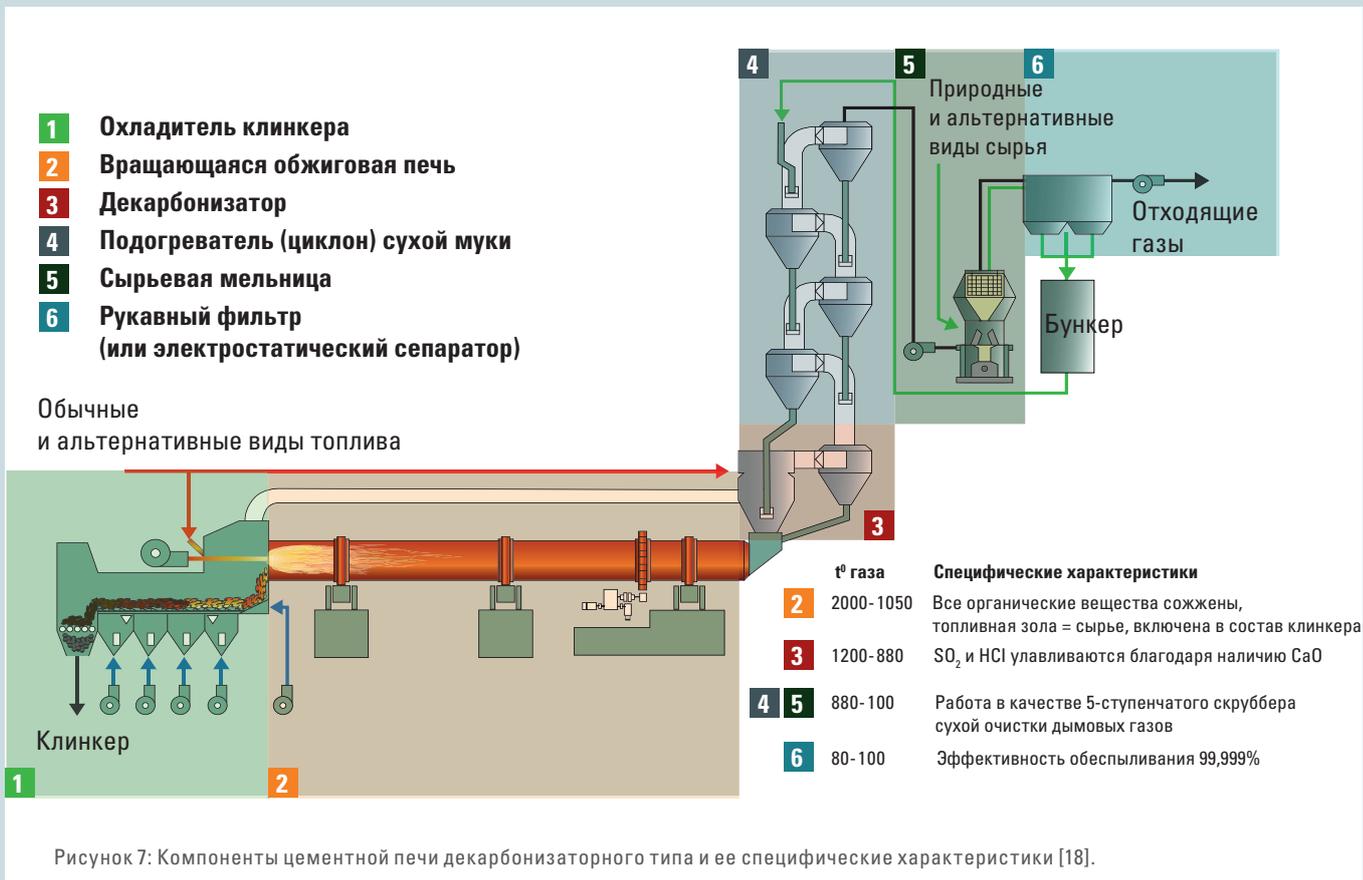


Рисунок 6: Общая схема технологических процессов МБО для получения топлива из отходов [17]

Как правило, топливо из отходов используется для поддержания процесса горения и подается по отдельной дозирующей системе. Совместная обработка в цементных печах имеет то преимущество, что реакции клинкера при 1450 °С позволяют полностью включить золу и, в частности, обеспечить химическое связывание металлов в клинкерный материал. Токсичные органические соединения полностью разрушаются в пламени при температурах, превышающих 2000 °С. Прямое замещение первичного топлива в процессе производства представляет собой значительно более эффективное восстановление энергии, чем другие технологии ПОЭ, обычно достигая 85–95% в зависимости от характеристик отходов.



3.2.2 ПРИГОДНЫЕ ОТХОДЫ

Пригодность отходов для совместной переработки зависит от их характеристик и типа отрасли, в которой они применяются. Топливо из отходов обычно относится к сегрегированной фракции ТБО коммерческих или промышленных отходов с высокой теплотворной способностью. Высокое содержание хлора или ртути в отходах может вызвать эксплуатационные или экологические проблемы. Поэтому остатки ПВХ-пластика, например, не пригодны для совместной обработки. Стандарты качества определяют такие характеристики топлива из отходов, как содержание микроэлементов, хлора и серы. Теплотворная способность топлива из отходов составляет около 10–15 МДж/кг и желательна для экономически обоснованной эксплуатации [19].

3.2.3 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Безопасное и ответственное использование отходов требует тщательного выбора пунктов загрузки печной системы, а также комплексного оперативного контроля в соответствии с конкретными характеристиками и объемами отходов. Использование отходов не должно негативно сказываться на ровной и непрерывной работе печи, качестве продукции или экологических показателях завода. Поэтому должны быть обеспечены стабильное качество и регулярность подачи отходов. Контроль доставки отходов в штатном режиме должен осуществляться регулярно с целью предварительной переработки отходов или производства топлива из отходов. Обслуживающий персонал должен быть надлежащим образом подготовлен в соответствии с конкретными потребностями и характером отходов или производимого из отходов топлива. Должны быть разработаны правила эксплуатационной безопасности и гигиены труда, а также должно поддерживаться регулярное взаимодействие с природоохранными органами, муниципалитетами, близлежащими населенными пунктами и прочими заинтересованными сторонами. Цементные заводы часто принадлежат международным группам, которые могут предоставить квалифицированные знания и экспертов для работы завода. Для совместного сжигания на тепловых электростанциях рекомендуется использовать произведенное из отходов топливо с четко определенными характеристиками и составом.



Переработанное топливо, произведенное из отходов (RDF) (слева), конвейерная лента на объекте по производству топлива из отходов (RDF) (в центре), внутри цементной печи (справа).

3.2.4 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Благодаря рекуперации материалов и энергии совместная переработка может способствовать уменьшению общего воздействия производства цемента на окружающую среду, которое является интенсивным с точки зрения потребления ресурсов и вызывает ряд выбросов в атмосферу, которые необходимо контролировать и сокращать ниже установленных законом пределов с помощью соответствующих методов. Потенциальные выбросы цементных печей включают пыль, оксиды азота (NOx) и двуокись серы (SO₂), а также диоксины и фураны, оксиды углерода (CO, CO₂), летучие органические соединения, хлористый водород (HCl), фтористый водород (HF) и тяжелые металлы. Для обеспечения экологически безопасной совместной переработки топлива из отходов в цементных печах операторам цементных заводов необходимо придерживаться определенных принципов, таких как принципы, изложенные в Базельской конвенции (2012 г.) [20], материалах Всемирного совета предпринимателей по устойчивому развитию (2014 г.) [21] или руководстве Немецкого общества по техническому сотрудничеству/Холсим (2006 г.) [18]. При использовании топлива из отходов уровень выбросов должен быть таким же или ниже, чем без использования такого топлива. Для этой цели необходимо применение современных технологий и процедур, таких как прямая загрузка топлива из отходов (RDF) в высокотемпературные зоны печи. Конструкция современных цементных заводов зачастую соответствует международным стандартам. На цементных заводах, отвечающих международным стандартам, требования по совершенствованию контроля за выбросами для совместной переработки являются низкими. Кроме того, выбор подходящих отходов, их надлежащая транспортировка и хранение, а также их подготовка к производству топлива из отходов имеют решающее значение для минимизации воздействия на окружающую среду. Готовые цементные изделия должны быть проверены на возможное выщелачивание тяжелых металлов, прежде чем они смогут быть использованы при строительстве зданий, дорог или иных сооружений.

3.2.5 ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ

Многие страны уже имеют правовую основу для использования технологии совместной переработки. Наличие соответствующего регулирования является предварительным условием успешного внедрения технологии совместной переработки в цементных печах. Правила совместной переработки должны стать частью природоохранного законодательства и законодательства об отходах. Необходимо определить нормы выбросов, технические условия для совместной обработки, а также порядок выдачи разрешений. В связи с высокой технической сложностью технологии совместной переработки для обеспечения эффективной правоприменительной практики и проведения регулярных проверок государственными органами, необходимо иметь укомплектованный штат квалифицированных работников. Дальнейшая информация о правовых требованиях и роли государственных органов может быть получена из вышеупомянутых руководящих принципов Базельской конвенции (2012) [20], материалов Всемирного совета предпринимателей по устойчивому развитию (2014 г.) [21] или руководства ГТЦ/Холсим (2006 г.) [18].

3.2.6 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Основной задачей оператора цементного завода, инвестирующего в совместную переработку, является снижение затрат на топливо и сырье. Это означает, что инвестиционное решение зависит от волатильных рыночных цен на уголь, нефтяной кокс, природный газ и сырье или других экономических стимулов. Чем выше затраты на первичное топливо или сырье, тем более привлекательными будут такие инвестиции.

Затраты на предварительную переработку, производство и совместную переработку топлива из отходов зависят от:

- » Расходов на разработку проекта и получение разрешений;
- » Производительности установок по переработке, подготовке и дозированной подаче отходов в цементную печь;
- » Мероприятий по охране здоровья и безопасности труда и контролю выбросов;
- » Капитальных затрат, налогов, страхования;
- » Коэффициента загрузки завода;
- » Запасных частей, технического обслуживания и вспомогательных материалов;
- » Результатов лабораторных анализов по определению состава отходов и топлива из отходов;
- » Расходов на управление, персонал и зарплаты.

В таблице 3 показаны диапазоны основных статей расходов по внедрению технологии совместной переработки.

Смета расходов завода по совместной переработке цемента в развивающихся странах – указанные цифры являются ориентировочными						
Первоначальные инвестиции	Капитальные расходы на тонну в год поступающих отходов	Эксплуатация и техобслуживание расходы на тонну	Общая стоимость переработки тонны отходов	Доход* на тонну	Стоимость** переработки тонны поступающих отходов	Примечание
5 – 25 миллионов евро включая предварительную переработку	10 – 25 евро/т	10 – 20 евро/т	20 – 45 евро/т	1 – 5 евро/т	19 – 40 евро/т	НТ в размере 10 МДж/кг, предварительно отсортированный и производительностью 50000 т/год, со сроком службы 20 лет, 6% годовых. IR

* Доходы в форме замещения ископаемого топлива. Отсутствие субсидий.

** Расходы, покрываемые за счет взимания проходных пошлин, субсидий и т. д.

Таблица 3: Пример сравнительных отдельных стоимостных элементов совместной переработки, полученных на основе опыта партнерства компаний GIZ-Holcim

Указанные расходы зависят от локальной ситуации, и из имеющейся информации о финансовых потребностях трудно сделать общие выводы, которые весьма существенно отличаются и частично зависят от конкретных экономических моделей различных компаний. Первоначальные инвестиции в основном включают предварительную переработку для получения однородного смешанного топлива из отходов (RDF), установку конвейерных лент и внедрение новых технических функций, позволяющих вводить RDF в процесс сгорания, а также складские помещения и меры безопасности, например, для снижения риска возникновения пожара. Новые цементные заводы могут потребовать меньшего количества модификаций, если они были построены с учетом возможного внедрения в будущем технологии совместной переработки отходов. Пример проекта совместной переработки в цементной промышленности в рамках Механизма чистого развития (МЧР)³ рассчитывается с инвестиционными затратами в размере 3 млн. евро, если используется до 60000 метрических тонн в год различных типов отходов и замещается около 25% первичной энергии. 50000 метрических тонн (83%) отходов представляют собой ТБО. Расчетная стоимость утилизации одной метрической тонны ТБО в проекте составляет 45 евро [22]. Один из крупнейших производителей цемента в мире считает, что минимальная «проходная пошлина» в размере 20–30 евро за тонну ТБО необходима для осуществления инвестиций в установку предварительной переработки и окончательной совместной переработки на цементных заводах.

³ Программа МЧР все еще является правовым и международно признанным документом, но уже утратила свою актуальность из-за перенасыщения мирового рынка карбон-кредитами. Однако новые схемы карбон-кредитования уже формируются на двух- и многостороннем уровне (например, Зеленый климатический фонд) или на национальном и международном рынках (например, Национальный план приемлемых действий по смягчению изменений климата)

3.2.7 ВЫВОДЫ

За последние 10 лет многие развивающиеся страны и страны с переходной экономикой накопили в целом позитивный опыт в области внедрения современной технологии совместной переработки. Технология совместной переработки представляет собой технологию переработки отходов в энергию, которая уже получила широкое признание среди деловых кругов и политиков. Хотя в настоящее время ее применение сосредоточено на конкретных высококалорийных промышленных и опасных отходах, существует несколько успешных примеров применения этой технологии для утилизации не подлежащих вторичной переработке твердых бытовых отходов. Ограничивающим фактором является транспортировка отходов из муниципалитетов на цементный завод. Расстояния свыше 200 км делают всю операцию финансово и экологически непривлекательной. Другим сдерживающим фактором является экономическая привлекательность альтернативных видов топлива, обусловленная неустойчивостью цен на ископаемые виды топлива, а также низкими доходами от сборов за удаление отходов в большинстве муниципалитетов развивающихся стран и стран с переходной экономикой.

3.3 Анаэробное сбраживание для производства биогаза

Анаэробное сбраживание (АС) представляет собой разложение органического вещества микроорганизмами в отсутствие свободного кислорода. АС происходит естественным путем в местах, лишенных доступа кислорода, например, в озерных отложениях, и может применяться в контролируемых условиях для производства биогаза. Для этой цели используется газонепроницаемый реактор, так называемый «анаэробный дигестер», обеспечивающий благоприятные условия для превращения микроорганизмами органического вещества, исходного сырья, в биогаз и твердожидкостный остаток, называемый дигестатом. Дигестат можно использовать как органическое удобрение, если исходное сырье прошло разделение у источника и представляет собой незагрязненные органические отходы. Биогаз представляет собой смесь различных газов, которые могут быть преобразованы в тепловую и/или электрическую энергию. Основным энергоносителем в биогазе является горючий газ метан (CH_4), содержание которого колеблется от 50 до 75% в зависимости от исходного сырья и условий эксплуатации [23]. Благодаря более низкому содержанию метана теплотворная способность биогаза составляет около двух третей от природного газа (5,5 до 7,5 кВт*ч/м³).

АС с использованием небольших дигесторов имеет давнюю традицию в развивающихся странах, где эта технология применяется для использования энергетического содержания органических остатков в сельских районах. Первичное сырье поступает из сельского хозяйства, особенно из навоза животных, который относительно прост в эксплуатации и может хорошо применяться в небольших масштабах. В муниципальном масштабе АС получает все большее внимание в качестве возможного варианта извлечения энергии из отходов в городских условиях. Однако эксплуатация биогазовых установок на разнородных ТБО является большой проблемой с точки зрения эксплуатационных, финансовых требований и требований безопасности. Как следствие, в развивающихся странах имеется очень мало успешных примеров использования биогаза из ТБО. Одной из основных проблем для успешной работы АС является возможность гарантировать стабильно хорошо отделенную фракцию органических отходов. Во многих странах органические отходы часто смешиваются с неорганическими веществами, такими как пластмассы, металлы и прочие загрязнители, что зачастую препятствует успешному применению АС в более крупных масштабах. В отличие от других установок ПОО, можно утверждать, что мелкомасштабные биогазовые установки являются возможной альтернативой и могут успешно применяться в развивающихся странах.

Органическое сырье, ожидающее переработки на биогазовой установке.

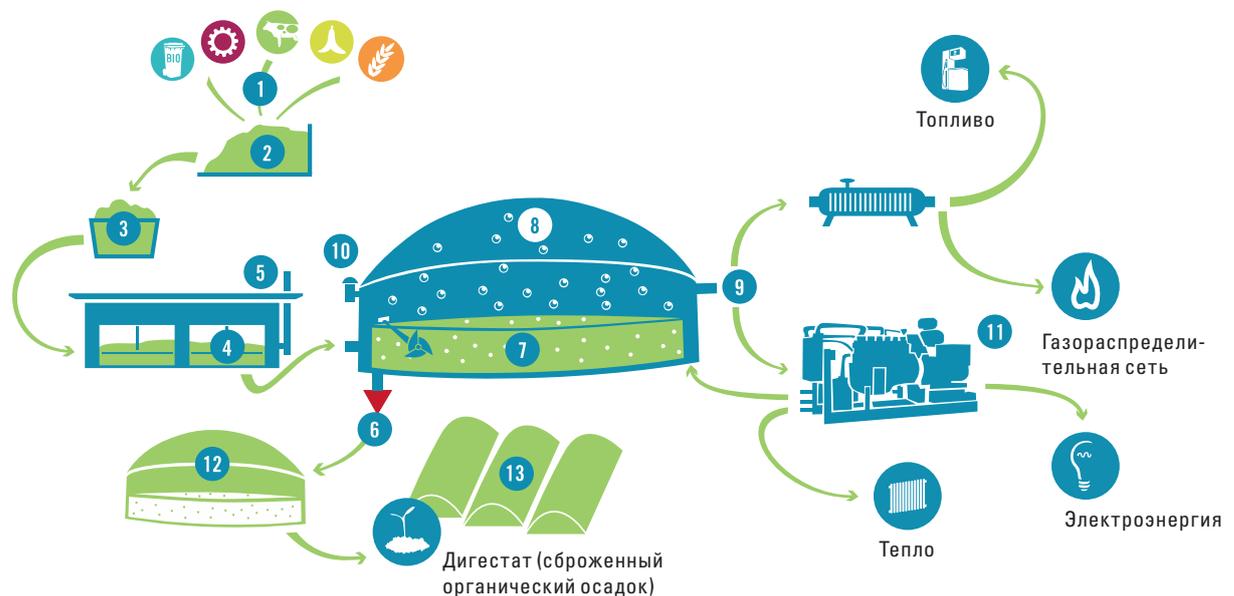


3.3.1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Существует большое количество различных конструкций анаэробных дигестеров по всему миру различного уровня сложности. Согласно [23], [24] анаэробные дигестеры могут классифицироваться по:

- » **Способу загрузки:** Периодическая или непрерывная загрузка.
- » **Температурному диапазону:** Психрофильные (<25 °С), мезофильные (35–48 °С) и термофильные (>50 °С) условия сбраживания, из которых только последние два считаются экономически жизнеспособными. Применение термофильных условий рекомендуется, когда риск патогенов является преобладающим. В качестве альтернативы пастеризация в течение 1 часа при температуре 70 °С или термофильное компостирование могут применяться для блокировки активности патогенов мезофильных систем.
- » **Типу реактора:** Корпусные реакторы непрерывного перемешивания обычно используются для жидкостного исходного сырья, такого как отходы заведений общественного питания, сточные воды или пищевой промышленный шлам, тогда как дигестеры с режимом идеального вытеснения и дигестеры периодического действия предназначены для переработки твердого исходного сырья. Хотя и твердое исходное сырье может быть обезвожено для переработки в корпусных реакторах непрерывного перемешивания.
- » **Числу стадий:** Одно- или многостадийное сбраживание.

Биогаз может напрямую использоваться для производства тепла или преобразовываться в тепло и электричество с помощью комбинированной теплоэлектростанции, при этом такое преобразование в тепло и электричество обычно производится после десульфуризации и сушки биогаза. Другим возможным вариантом является обогащение биогаза до биометана с содержанием метана около 98%, который может быть использован в качестве заменителя природного газа [23]. На рисунке 8 показан процесс получения биогаза путем анаэробного сбраживания из органических отходов и навоза. Произведенный биогаз можно использовать например в установке комбинированного производства электроэнергии и тепла.



- | | | | |
|---|---|----|---|
| 1 | Различные виды исходного сырья | 8 | Газохранилище |
| 2 | Приемка и хранение отходов | 9 | Система очистки газа |
| 3 | Подготовка, обработка, сортировка и очистка исходного сырья | 10 | Предохранительное оборудование (устройства стравливания давления, предохранительные клапаны, газовые факелы и т.д.) |
| 4 | Закрытое здание для подготовки гнилостных отходов | 11 | Установка комбинированного производства тепла и электроэнергии |
| 5 | Биофильтр для уменьшения запахов и органических соединений | 12 | Хранилище дигестата |
| 6 | Блок санитарной очистки | 13 | Обогащение дигестата |
| 7 | Дигестер | | |

Рисунок 8: Компоненты и конечные применения установки анаэробного сбраживания. Рисунок предоставлен: Отраслевое объединение «Биогаз» [25].

3.3.2 ПРИГОДНЫЕ ОТХОДЫ

АС может использоваться только для переработки органических веществ, т. е. биомассы. Содержание волокнистых материалов, таких как гемицеллюлоза и лигнин, содержащихся, например, в соломе и древесных растениях, обычно должно быть довольно низким, так как их разложение при АС происходит медленно. Помимо использования органических «отходов» биомассы, таких как сельскохозяйственные отходы или органические фракции ТБО, для производства биогаза можно использовать специально выращенные энергетические культуры, такие как кукуруза. Тем не менее такое применение кукурузы может привести к потенциальному конфликту с производством продуктов питания, и, таким образом, не является предметом настоящего руководства, в котором АС рассматривается исключительно для переработки бытовых органических отходов. Включение неорганических или опасных веществ в технологический процесс нежелательно и может сдерживать микробиологическую деградацию, затруднять эксплуатацию, например, путем засорения труб пластиковыми материалами и/или ограничивать использование дигестата в качестве органического удобрения.

Муниципальные органические отходы, получаемые от домашних хозяйств, базаров, садов и огородов, разделенные у источника, можно считать подходящим источником сырья для анаэробного сбраживания. Кроме того, совместное сбраживание с сельскохозяйственными отходами, осадком очистных сооружений сточных вод или органическими промышленными или отходами коммерческого сектора может повысить доступность исходного сырья и тем самым экономическую целесообразность. Использование биоотходов из домашних хозяйств является более сложным, чем использование других видов сырья, таких как энергетические культуры, промышленные и коммерческие отходы, побочные продукты животноводства или растительные побочные продукты [26]. Это связано с колебаниями состава используемого сырья в течение года и возможным содержанием высокого количества примесей. Объемы метана и энергии, получаемые в результате АС, в значительной степени определяются видом исходного (см. показательные примеры в Таблице 4).

Сырье	Выход метана [$\text{Nm}^3 \text{CH}_4$ при $T_{\text{влажного состояния}}$]	Выход энергии [МДж при $T_{\text{влажного состояния}}$]
Муниципалитеты		
Сточные воды	15	570
Кухонные и садово-огородные отходы	40–100	1,510–3,780
Промышленные отрасли		
Фруктово-ягодные отходы	60	2,270
Отходы мясопереработки	50	1,890
Сельское хозяйство		
Навоз крупного рогатого скота	32	1,210
Трава	90	3,400

Таблица 4: Показательные примеры объемов метана и энергии, получаемых при анаэробном сбраживании отборных органических отходов (адаптировано из [23] [27]), с указанием объемов метана в нормальных m^3 (нормальные m^3 , при 0°C , давлении 1,01325 бар и относительной влажности газа 0%) на тонну сырого веса (t) сырья и при теплотворной способности метана 37,8 МДж на нормальный m^3 (высшая теплотворная способность).

3.3.3 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Важными функциональными аспектами являются следующие:

- » **Наличие и состав органических отходов:** состав и количество органических отходов может существенно меняться в зависимости от сезона, в первую очередь, за счет наличия сельскохозяйственной продукции и ее остатков. Это обстоятельство необходимо учитывать при планировании анаэробных дигестеров и их производительности, также, как и площади для складирования сырья, когда объемы поступающего сырья выше, чем мощность завода.
- » **Температура:** Рост и размножение микроорганизмов происходит быстрее при более высоких температурах в отсутствие других ограничивающих условий. В большинстве случаев мезофильный диапазон температур между приблизительно от 35 до 48°C считается наиболее стабильным. Работа при более высоких температурах в термофильном диапазоне $>50^\circ\text{C}$ может устранить патогенные микроорганизмы и помочь уменьшить объем реактора, но, как правило, требует нагрева и термоизоляции. В более холодных климатических условиях психрофильное АС успешно применяется для небольших дигестеров (например, [24]), однако становится экономически нецелесообразным для более крупных дигестеров, требующих дополнительного нагрева и термоизоляции.

- » **Скорость загрузки по органическим загрязнениям (СНОЗ):** СНОЗ определяет количество исходного сырья, которое может быть разложено конкретным дигестером в единицу времени.
- » **Углерод: азотное соотношение (C:N):** Относительное обилие углерода и азота является определяющим параметром роста микроорганизмов и должно быть в пределах 16–25 для анаэробных дигестеров.

3.3.4 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Переработка органических отходов в биогаз может сопровождаться рядом экологических преимуществ. Биогаз обычно заменяет другой вид энергии, во многих случаях ископаемое топливо или древесину. При замене ископаемого топлива полученный из органических отходов биогаз уменьшает выброс дополнительных парниковых газов в атмосферу, поскольку углерод, содержащийся в биомассе, происходит из атмосферного CO₂. В случае замены дров, как это имеет место во многих сельских домашних хозяйствах, заменяющий биогаз может привести к сокращению масштабов обезлесения в результате заготовки дров. Дигестат анаэробного сбраживания используемый в качестве органического удобрения может заменить энергоемкие виды минеральных удобрений. Однако возможность использования дигестата в качестве удобрения также зависит от его качества и отсутствия в нем примесей металлов или патогенов.

Опасность для окружающей среды могут представлять возможные утечки биогаза из неправильно эксплуатируемых дигестеров. Поскольку потенциал способствования глобальному потеплению метана примерно в 21 раз выше, чем у CO₂, таких утечек необходимо избегать и гарантировать правильную работу дигестеров. Также следует избегать утечек дигестата в водные объекты, поскольку такие утечки могут нарушить локальные экосистемы.

3.3.5 ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ

АС уже широко применяется во многих развивающихся странах в небольших масштабах и, как правило, вписывается в национальные правовые и политические рамки. Однако для крупномасштабного внедрения АС в городских условиях должны применяться дополнительные правовые нормы, включая правила безопасности и меры по предупреждению распространения неприятного запаха. К сожалению, до сих пор такие правовые нормы существуют и/или соблюдаются лишь в некоторых развивающихся странах, что может негативно сказаться на немедленном внедрении этой технологии. Законодательная база для установления минимальных стандартов качества дигестата также важна, чтобы избежать потенциальных рисков в сельскохозяйственном использовании. Рекомендации по аспектам безопасного использования биогаза см. в публикации: Безопасность биогаза прежде всего! на сайте www.biogas-safety.com.



Органические отходы должны тщательно разделяться у источника их образования.



Газовые факелы обеспечивают безопасный выпуск избыточного давления.

3.3.6 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Прибыльность АС во многом определяется качеством сырья. Загрязнение неорганическими веществами увеличивает затраты на разделение и уменьшает потенциальные выгоды, получаемые от переработки остатков, которые могут быть использованы в качестве удобрений в сельском хозяйстве. Прямое использование биогаза требует минимальных дополнительных вложений. При дальнейших инвестициях биогаз может обогащаться до биометана или перерабатываться в тепло и электроэнергию. В Таблице 5 приведен пример сравнительных индивидуальных стоимостных элементов анаэробного сбраживания предварительно отсортированных ТБО производительностью от 50000 до 150000 метрических тонн органических отходов в год. Данные были получены из [28], [29] и скорректированы с учетом условий развивающихся стран (более низких расходов на заработную плату). Оценочные чистые затраты в размере от 14 до 18 евро за метрическую тонну органических отходов указывают на то, что продажа электроэнергии будет недостаточна для покрытия полной стоимости переработки.

Смета затрат на установку анаэробного сбраживания в развивающихся странах – указанные цифры являются ориентировочными						
Первоначальные инвестиции	Капитальные расходы на тонну в год поступающих отходов	Эксплуатация и обслуживание расходы на тонну	Общая стоимость переработки тонны отходов	Доход* на тонну	Стоимость** переработки тонны поступающих отходов	Примечание
12 – 20 миллионов евро	12 – 19 евро/т	10 – 15 евро/т	22 – 34 евро/т	8 – 16 евро/т	14 – 18 евро/т	производительность 50000–150000 т/г, срок службы 20 лет, 6% годовых IR

* Доходы в форме замещения ископаемого топлива. Отсутствие субсидий

** Расходы, покрываемые за счет взимания проходных пошлин, субсидий и т. д.

Таблица 5: Пример сравнительных отдельных стоимостных элементов анаэробного сбраживания, полученных из [28], [29] и адаптированных к условиям развивающихся стран.

Преимущества анаэробного сбраживания органических отходов заключаются в биогазе, пригодном для использования в качестве источника энергии, а также в дигестате, пригодном для использования в качестве удобрения. Выгоды от производства биогаза зависят в первую очередь от цены замещаемой им энергии. Возможность использования дигестата в качестве органического удобрения и его денежная ценность зависят, в том числе, от качества дигестата, местных или региональных потребностей, а также от его принятия фермерами [24]. Косвенные выгоды обусловлены значительным сокращением массы отходов, подлежащих захоронению на свалках или санитарно-технических полигонах, особенно в развивающихся странах.

3.3.7 ВЫВОД

Доля органических отходов в ТБО в развивающихся странах обычно намного выше, чем в промышленно развитых странах, и сельскохозяйственные отходы также часто доступны для использования в качестве субстратного кофактора. Кроме того, многие развивающиеся страны находятся в теплом климате. Эти условия делают АС особенно привлекательным.

Нынешняя практика управления отходами, особенно отсутствие разделения у источника, препятствует внедрению и стабильной работе технологии анаэробного сбраживания. Особенно в городском контексте усиленное внимание необходимо уделять нормативно-правовой базе в области безопасности. Воспринимаемое как низкотехнологичное решение, анаэробное сбраживание часто недооценивается с точки зрения эксплуатационных требований и требований к рабочей силе, что приводит к сбоям в работе, более низким по сравнению с расчетными показателями выходам биогаза и низкому качеству дигестата для сельскохозяйственного применения. Наконец, нельзя ожидать, что финансовые поступления от производства биогаза (электроэнергии, тепла/холода или биометана) и дигестата из органических отходов и его продажи превысят производственные затраты, если полностью учитывать инвестиционные затраты, особенно без наличия специального льготного тарифа на электроэнергию/биометан, продаваемый в сеть электроснабжения или природного газа. Интегрированное в тщательное планирование УТО, которое должно включать разделение отходов на уровне домохозяйств, АС может дополнять другие технологии и практики УТБО.

3.4 Улавливание свалочного газа

Улавливание свалочного газа (СГ) представляет собой особый вид технологии ПОЭ, отличный от других технологий, описанных в настоящем руководстве. Улавливание СГ следует рассматривать в качестве важнейшего компонента частичного смягчения негативных последствий эксплуатации санитарно-технических полигонов (СТП) для климата. Санитарно-технические полигоны являются международно принятой и признанной практикой в развивающихся странах и во многих случаях единственным вариантом контролируемой переработки и хранения собранных отходов. Несмотря на то, что СТП представляют собой шаг вперед по сравнению с неконтролируемыми и открытыми свалками, они также оказывают негативное долгосрочное воздействие на окружающую среду в виде выбросов в атмосферу свалочного газа-метана, являющегося парниковым газом, способствующим глобальному потеплению. Другие виды негативного воздействия СТП включают потерю ценных ресурсов при захоронении отходов, а также наличие пахучих и токсичных соединений. Метан в СГ образуется в результате анаэробного сбраживания органических веществ в теле полигона, который может рассматриваться как крупногабаритный биореактор. Для сокращения выбросов парниковых газов с полигонов в атмосферу необходимо улавливать метан. Это возможно благодаря улавливанию свалочного газа, однако значительные потери газа имеют место на начальном этапе работы полигона до установки и ввода в эксплуатацию системы улавливания метана. Даже после ввода в эксплуатацию системы улавливания метана полное улавливание всего выбрасываемого полигоном газа невозможно. Более 200 проектов по сбору СГ были успешно реализованы в рамках Механизма чистого развития Киотского протокола по смягчению последствий выбросов климатических газов [30].



Санитарно-технический полигон с высоты (слева) и в процессе строительства (справа).

3.4.1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Свалочный газ состоит из метана на 45–55% и поэтому пригоден для использования в качестве топлива для выработки тепла и электроэнергии, совместной выработки электрической энергии и тепла или в качестве топлива для транспортных средств. Остальную часть свалочного газа представляет собой CO_2 . Выход свалочного газа зависит от ряда факторов:

- » Состава отходов;
- » Степени свежести помещенных на полигон и уплотненных отходов;
- » Степени уплотнения и высоты отдельных слоев;
- » Содержания воды на полигоне;
- » Климатических условий;
- » Технических характеристик улавливания газа метана на СТП.

Анализ образуемого свалочного газа в Таиланде показывает, что на различных полигонах в сезон дождей образуется в 1,9–5,5 раз больше свалочного газа, чем в сухой сезон [31].

В настоящее время имеются различные технологии улавливания СГ как на работающих, так и на закрытых СТП. Одновременно с улавливанием выделяемого отходами СГ обеспечивается защита системы улавливания от проникновения воды и воздуха. Для сбора свалочного газа перфорированные трубы вводятся в толщу отходов. Эти трубы могут устанавливаться вертикально или горизонтально. Газ поступает в перфорированные трубы и подается на систему очистки газа, в частности, для удаления сероводорода. После очистки газ может быть использован (см. рисунок 9).

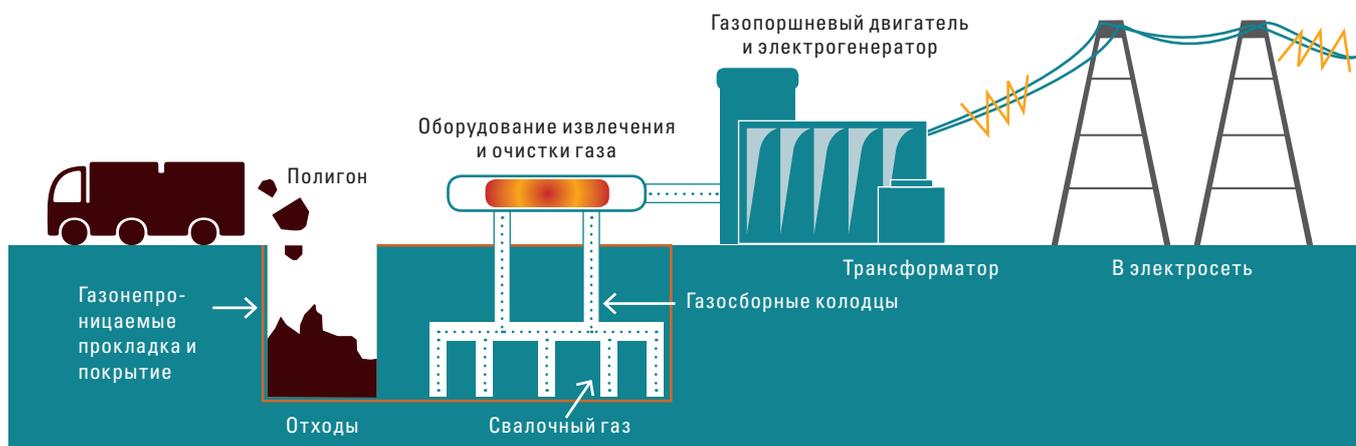


Рисунок 9: Компоненты системы улавливания свалочного газа с функцией производства электричества [32].

3.4.2 ПРИГОДНЫЕ ОТХОДЫ

Проекты улавливания свалочного газа требуют высокого содержания реактивных органических отходов в теле полигона. Высокое содержание минеральных отходов или медленное сбраживание органических веществ (например, древесины) снижает выход газа.

3.4.3 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Операторы СТП должны исключить риск миграции значительных объемов газа через нижележащие горизонты или скопления газа вне полигона в виде взрывоопасной или удушающей смеси. Операторы СТП должны обеспечить минимальные объемы выбросов газа путем сбора, переработки и использования свалочного газа. Проверки системы сбора газа должны проводиться ежегодно для оценки эффективности системы.

3.4.4 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Сбор и сжигание метана из свалочного газа способствует уменьшению выбросов парниковых газов и других токсичных веществ. Использование СГ в качестве заменителя предназначенных для сжигания ископаемых видов топлива, таких как уголь или нефть, или в качестве заменителя дизельного топлива транспортных средств также способствует улучшению качества воздуха. Но международный опыт показал дополнительные недостатки свалочного газа помимо известных рисков санитарно-технических полигонов:

- » Теоретические объемы газообразования и реально улавливаемые объемы газа не совпадают. Во многих случаях реальный выход газа значительно ниже ожидаемого объема, что означает, что часть метана попадает в окружающую среду. По оценкам Агентства по охране окружающей среды США, эффективность сбора СГ составляет от 60 до 85% [33]. Тем не менее на многих СТП в развивающихся странах этот показатель едва достигает 50% из-за более низких технических стандартов и ограниченности финансирования. При сравнении фактически уловленного и собранного объема газа с общим объемом выбросов газа в течение срока службы СТП, эффективность сбора СГ падает ниже 20–30%.
- » Период выделения СГ может составлять от 30 до 50 лет – временной горизонт, выходящий за пределы срока эксплуатации СТП. Вопрос о том, кто эксплуатирует и обслуживает газовую систему, часто остается без ответа.
- » Утечки в системе СГ представляют риск для безопасности, поскольку выходящий газ может накапливаться в соседних зданиях и привести к взрывам.

3.4.5 ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ

В большинстве случаев законодательное регулирование сбора свалочного газа отсутствует; соответствующие правовые условия поощряют сбор свалочного газа на основе местного законодательства об отходах, регулирующего планирование и эксплуатацию санитарно-технических полигонов.

3.4.6 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

В рамках Механизма чистого развития (МЧР) в развивающихся странах было реализовано много проектов по улавливанию СГ с целью выработки электроэнергии. Без дополнительных доходов от сертифицированного сокращения выбросов CO₂ многие проекты по сбору СГ, скорее всего, не были бы реализованы по экономическим причинам. В таблице 6 приводятся ориентировочные данные о расходах на улавливание СГ на основе информации о проектах МЧР, полученной из Бразилии [34] и Китая [35]. Затраты в значительной степени зависят от конструкции и топографии СТП. Затраты на строительство и эксплуатацию самого СТП не учитывались.

Смета расходов по сбору свалочного газа применительно к санитарно-техническим полигонам в Бразилии и Китае в рамках проектов МЧР						
Первоначальные инвестиции	Капитальные расходы на тонну в год поступающих отходов	Эксплуатация и техобслуживание расходы на тонну	Общая стоимость переработки отходов	Доход* на тонну	Стоимость переработки тонны поступающих отходов	Примечание
6 миллионов евро (МЧР-Бразилия)	0.8 евро/т	0.8 евро/т	1.6 евро/т	2.4 евро/т	- 0.8 евро/т	Приблизительная производительность 390000–850000 т/г, срок службы 21 год, 8% и 12% годовых IR
5.3 миллиона евро (МЧР-Китай)	1.4 евро/т	0.3 евро/т	1.7 евро/т	3.4 евро/т	- 1.7 евро/т	

* От продажи газа/энергии, включая доходы от кредитов МЧР в данных проектах

Таблица 6: Пример сравнительных отдельных стоимостных элементов проекта улавливания СГ с выработкой электроэнергии, заимствованный из проектов МЧР, реализованных в Бразилии [34] и Китае [35]. В каждом случае инвестиционные расходы указаны для генераторов комплектного оборудования завода. Расходы на строительство и эксплуатацию СТП не учитывались.

3.4.7 ВЫВОДЫ

Сбор свалочного газа не является основной целью эксплуатации санитарно-технических полигонов, но свалочный газ следует рассматривать как побочный продукт работы СТП. Хорошо известно, что СТП имеют множество недостатков, таких как загрязнение грунтовых вод и воздуха, образование требующего переработки свалочного фильтрата и неприятные запахи. Поэтому улавливание свалочного газа не следует рассматривать в качестве основной технологии ПОЭ, но в качестве обязательной задачи для городов, вынужденных использовать СТП в качестве единственно возможного выбора. Сбор СГ следует рассматривать в качестве возможности улучшения состояния существующих СТП, но не как цель отдельных новых проектов ПОЭ. Улавливание СГ может смягчить некоторые климатические последствия СТП, однако низкая эффективность улавливания газа на протяжении всего срока службы СТП показывает сложность смягчения климатического воздействия санитарно-технических полигонов.

3.5 Альтернативные технологии: Пиролиз и производство газообразного горючего

За последние 40 лет развитие так называемых «альтернативных технологий» (АТ) термической переработки отходов проходило в два основных этапа. Первый этап, проходивший в 1970-е и 1980-е годы, характеризовался высокой мотивацией и потенциалом инноваций для разработки комплексной и эффективной технологии переработки отходов с максимально возможным получением технологических продуктов и минимальным негативным воздействием на окружающую среду. На втором этапе в середине 1990-х годов доминировали маркетинговые стратегии. Производство газообразного горючего и пиролиз, позднее также плазменный пиролиз, рассматривались в качестве технически и финансово жизнеспособных альтернатив сжиганию отходов и получили название незагрязняющих технологий по сравнению со сжиганием. В настоящее время в Европе, Африке и Латинской Америке не работает ни одна крупномасштабная установка по переработке ТБО, а несколько установок в Азии (в основном в Японии) и США работают в качестве интегрированного элемента более сложной системы УТБО или исключительно для переработки отдельных потоков отходов. Передовые технологии и эксплуатационные требования, потребности в высокоспецифичных видах отходов и высокие первоначальные капитальные затраты затрудняют масштабное применение этой технологии.

Как и сжигание отходов, целью АТ является переработка отходов с целью уменьшения их объема и опасности, а также улавливание (и, таким образом, концентрирование) или уничтожение потенциально вредных веществ. Этот процесс также позволяет извлекать энергию, минеральные и/или химические вещества из отходов в виде полезных продуктов «вторичной переработки», таких как синтетический горючий газ, нефть, коксовый остаток или кокс (см. рисунок 10).

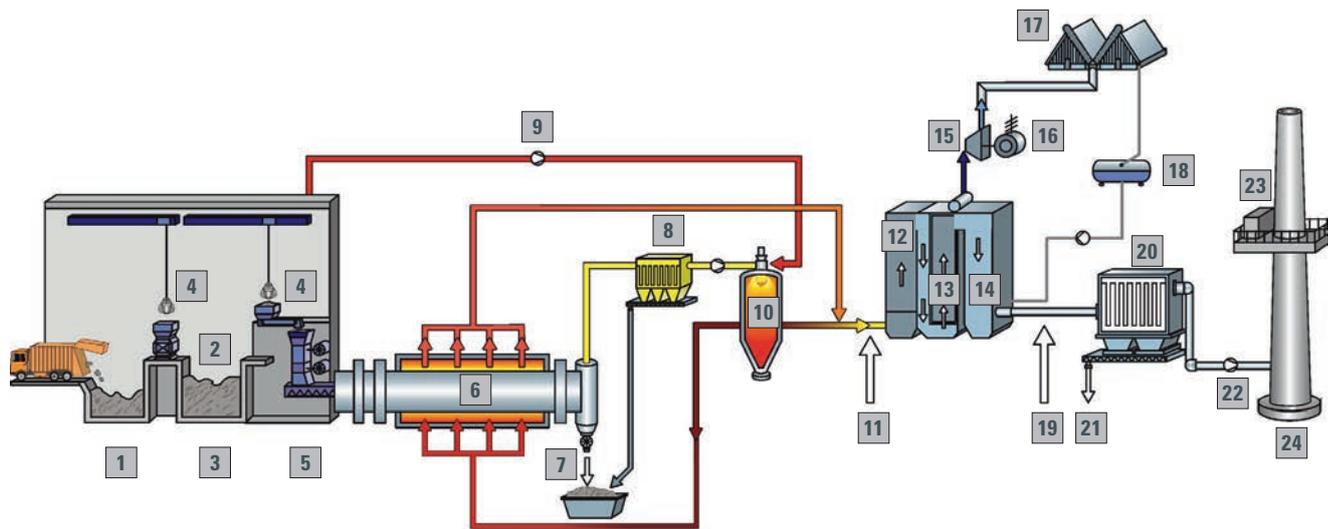
3.5.1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Пиролиз/производство газообразного горючего – это дегазация отходов в контролируемых кислородом условиях, при которой образуются пиролизный газ и твердый кокс. Теплотворная способность пиролизного газа обычно составляет от 5 до 15 МДж/м³ в случае переработки бытовых отходов. В более широком смысле «пиролиз» является общим термином, включающим в себя ряд различных технологических комбинаций, которые в целом представляют собой следующие технологические этапы:

- » **Тлеющий процесс:** Образование газа из летучих частиц отходов при температурах от 400 до 600 °С
- » **Пиролиз:** Термическое разложение органических молекул отходов при температуре от 500 до 800 °С приводит к образованию газа и твердой фракции
- » **Производство газообразного горючего:** Конверсия доли углерода, оставшейся в пиролизном коксе при 800–1000 °С посредством газифицирующего вещества (например, воздуха или пара)
- » **Сжигание:** В зависимости от комбинации технологий газ и кокс сжигаются в камере сжигания.

Пиролиз и производство газообразного горючего требуют организации специфических потоков отходов.





- | | | |
|------------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 Бункер крупнофракционных отходов | 9 Вентилятор воздуха для горения | 17 Конденсатор |
| 2 Вращающиеся ножицы | 10 Камера сгорания | 18 Бак питательной воды |
| 3 Бункер измельченных отходов | 11 Селективное некаталитическое восстановление | 19 Расходный бункер присадки |
| 4 Мостовой кран | 12 Испаритель | 20 Волокнистый фильтр |
| 5 Система подачи | 13 Перегреватель | 21 Выгрузка пылевого фильтра |
| 6 Пиролизная печь | 14 Экономайзер | 22 Вентилятор искусственной тяги |
| 7 Разгрузочная система | 15 Турбина | 23 Система мониторинга выбросов |
| 8 Фильтр горячего газа | 16 Генератор | 24 Дымовая труба |

Рисунок 10: Компоненты пиролизной установки для переработки специфических видов твердых отходов [36]

Были разработаны и другие процессы, основанные на разделении фаз, которые также происходят в мусоросжигательной установке: сушка, улетучивание, пиролиз, карбонизация и окисление отходов. Некоторые из этих разработок столкнулись с техническими и экономическими проблемами после их расширения до коммерческих масштабов, и поэтому больше не преследуются. Некоторые разработки используются на коммерческой основе (например, в Японии), а другие проходят испытания на демонстрационных установках по всей Европе, однако по-прежнему имеют лишь небольшую долю общих перерабатывающих мощностей по сравнению с технологией сжигания и применяются только в отношении отдельных видов отходов.

3.5.2 ПРИГОДНЫЕ ОТХОДЫ

Успешный опыт переработки больших объемов смешанных ТБО из-за их неоднородного состава отсутствует. По этой причине пиролиз может быть одним из вариантов окончательной переработки некоторых отдельных потоков отходов, таких как загрязненная почва, клинические отходы или моноопасные промышленные/коммерческие отходы. Не рекомендуется применять пиролиз для переработки смешанных бытовых отходов или сред, требующих применения надежных и проверенных технологий.

3.5.3 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Пиролиз или производство газообразного горючего не могут считаться простыми в обращении автономными технологиями, а должны быть компонентом общей системы управления отходами. Эксплуатация требует хорошего понимания состава поступающих отходов и знаний технологического процесса. Опыт показал, что для безаварийной работы пиролизной установки требуются высококвалифицированные технические специалисты.

3.5.4 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Потенциальные преимущества процессов пиролиза могут включать:

- » Восстановление материальной ценности органической фракции, например, в виде метанола;
- » Увеличение выработки электроэнергии с использованием газовых двигателей или газовых турбин;
- » Сокращение объема дымовых газов после сжигания;
- » Производство коксового остатка или кокса, которые могут использоваться в качестве топлива на энергетических или цементных заводах.

3.5.5 ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ

Следует исходить из того, что природоохранное законодательство в большинстве развивающихся стран не рассматривает пиролиз и производство газообразного горючего в качестве технологий сжигания (или ПОЭ). Это делает весь процесс оценки воздействия и лицензирования данных технологий довольно сложным и трудоемким, если не невозможным.

3.5.6 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Из-за высоких затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание экономические показатели альтернативных технологий могут считаться приемлемыми только в том случае, если продукты процесса (газ, кокс) имеют хорошую рыночную стоимость. Это в значительной степени зависит от конъюнктуры рынка и потребностей конечного потребителя (например, цементного завода), расположенного вблизи завода АТ. Опыт последних 40 лет показывает, что, помимо технических проблем, пиролизные и производящие газообразное горючее компании часто сталкиваются с экономическими проблемами, которые во многих случаях приводят к остановке производства, поскольку компании не имеют возможности получить достаточные доходы для покрытия дополнительных расходов на подготовку продукции. По сравнению со всеми другими технологиями ПОЭ, представленными в данном руководстве, пиролиз и производство газообразного горючего являются самыми дорогостоящими. В таблице 7 ниже приводятся ориентировочные данные о затратах на установку альтернативной технологии с ежегодной производительностью переработки отходов 150000–200000 тонн.

Смета затрат на установку пиролиза/производства газообразного горючего в развивающихся странах – указанные цифры являются ориентировочными						
Первоначальные инвестиции	Капитальные расходы на тонну в год поступающих отходов	Эксплуатация и техобслуживание расходы на тонну	Общая стоимость переработки тонны отходов	Доход* на тонну	Стоимость** переработки тонны поступающих отходов	Примечание
80 – 120 миллионов евро	35 – 45 евро/т	30 – 40 евро/т	65 – 85 евро/т	2 – 5 евро/т	63 – 80 евро/т	Производительность 250000 т/г, срок службы 20 лет, 6% годовых IR

* От реализации конечной продукции

** Расходы, покрываемые за счет взимания проходных пошлин, субсидий и т. д.

Таблица 7: Пример сравнительных отдельных стоимостных элементов пиролизной установки в Германии [37].

3.5.7 ВЫВОД

Ориентированные на будущее концепции управления отходами должны отвечать экономическим и экологическим потребностям. В этом контексте пиролиз или газификация высококалорийных фракций отходов могут предложить в сочетании с электростанциями и промышленными печами альтернативное техническое решение, при условии, что оно в основном будет использоваться для отдельных высококалорийных видов отходов и отработавшего топлива. Технический подход представляет собой возможный выбор в рамках уже полностью организованной системы управления отходами.

Однако в большинстве, если не во всех развивающихся странах, на уровне муниципальных образований нет условий, которые могли бы послужить экономическим обоснованием применения технологий пиролиза или производства газообразного горючего. Кроме того, относительно высокие эксплуатационные и инвестиционные затраты не оправдывают экспериментов с нишевой технологией для очень селективных фракций, которые редко встречаются в коммунальных отходах.

4. МАТРИЦА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

4.1 Цель

Любой проект ПОЭ является сложным мероприятием и должен сопровождаться профессиональной и тщательной оценкой осуществимости. Матрица решений, представленная в этой главе, призвана помочь получить первое представление о пригодности потенциальных технологий для конкретных условий, а также о различных аспектах, на которые должны обращать внимание принимающие решения лица в ходе обсуждений с поставщиками технологий. В матрице представлены общие рамочные условия, применимые к каждой из пяти технологий, рассматриваемых в настоящем руководстве. Матрица преследует следующие три цели:

- Предоставить обзор предварительных условий для создания и эксплуатации технологий ПОЭ
- Сравнить пригодность пяти представленных технологий ПОЭ для различных рамочных условий
- Предложить первоначальное представление о применимости предполагаемой технологии ПОЭ, о дальнейших необходимых улучшениях общей системы управления отходами или о возможной неприменимости предлагаемой технологии ПОЭ.

Матрица состоит из 12 основных параметров, подлежащих учету в локальном контексте при рассмотрении проекта ПОЭ. К ним относятся:

1. **Общий уровень управления отходами**
2. **Состав отходов**
3. **Теплотворная способность ТБО для тепловых процессов, содержание органических веществ**
4. **Необходимые для ПОЭ объемы отходов**
5. **Эффективная работа мусороперерабатывающих предприятий**
6. **Дополнительное время и расстояние доставки ТБО на завод ПОЭ**
7. **Сбыт и/или окончательное удаление технологических остатков**
8. **Правовая база и экологические требования к ПОЭ**
9. **Финансирование управления ТБО**
10. **Доступ к иностранной валюте**
11. **Доступ к конечным потребителям энергии, извлекаемой с помощью ПОЭ, или производимого из отходов топлива**
12. **Стимулы для низкоуглеродного производства электроэнергии**

Параметры были частично взяты из руководства Всемирного банка для принимающих решения лиц [15] и были адаптированы для удовлетворения потребностей этого руководства. Каждый параметр более подробно описан в приложении А.

КАК ИСПОЛЬЗОВАТЬ МАТРИЦУ РЕШЕНИЙ

Для каждого из двенадцати параметров, перечисленных выше, читатели должны оценить свои локальные условия в соответствии с вариантами, приведенными горизонтально слева (высокоразвитые) направо (очень слабо развитые) в матрице. Потенциальная пригодность пяти технологий ПОЭ показана различным цветом для каждого из горизонтально заданных локальных условий:

ЗЕЛЁНЫЙ

технология ПОЭ, скорее всего, является подходящей.

ЖЁЛТЫЙ

для успешного планирования и осуществления проекта ПОЭ может потребоваться дополнительная информация и/или некоторые улучшения местных условий.

КРАСНЫЙ

технология ПОЭ не подходит. Настоятельно рекомендуется улучшить или изменить конкретные местные условия или выбрать другую технологию.

После оценки двенадцати параметров, читатель будет иметь обзор пригодности каждой из технологий для своих местных условий. В качестве ориентации количество красных, желтых и зеленых полей для каждой технологии ПОЭ можно интерпретировать следующим образом:

Итоги матрицы	Подходит ли технология для моих условий?
<ul style="list-style-type: none">• Девять или более зеленых полей• Все остальные поля желтые	В принципе технология представляется применимой. Однако выделенные желтым цветом параметры требуют дополнительного исследования и доработок.
<ul style="list-style-type: none">• Менее девяти зеленых полей• Все остальные поля желтые	Эта технология может быть пригодной, но существующие условия пока не благоприятствуют ее применению. Принимающие решения лица должны оценить существующие условия более тщательно, прежде чем начать проект ПОЭ или сосредоточиться на технологии, которая имеет больше зеленых полей.
<ul style="list-style-type: none">• Одно или несколько красных полей	НЕПРИЕМЛЕМЫЕ КРИТЕРИИ: существуют серьезные недостатки при применении этой технологии. Все выделенные красным цветом условия должны быть улучшены до начала проекта по внедрению технологии или выбрать технологию, отображаемую только в желтых и зеленых полях.

Применение матрицы позволяет пользователям построить первую прозрачную оценку реалистичных вариантов ПОЭ на ближайшее будущее. В матрице дается обзор предварительных условий, которые необходимо выполнить в целевом регионе для проекта ПОЭ, и информационный пробел для проведения более всесторонней оценки. Для получения более подробной информации по каждому параметру и его различным значениям см. Приложение А.

4.2 Матрица ответственного лица, принимающего решения

1. Общий уровень управления отходами

1	Существует передовая система управления отходами, основанная на потоках отходов (например, биомасса, опасные отходы, пригодные для вторичной переработки отходы).	Организован систематический сбор отходов. Некоторые фракции отходов (например, шины, пригодные для вторичной переработки отходы, биомасса) направляются на переработку и компостирование.	Систематический сбор и захоронение отходов на полигоне существует. Отсутствие систематически организованной вторичной переработки.	Отсутствие систематического сбора, переработки и утилизации отходов.
	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	

2. Состав отходов

2	Органические и неорганические фракции собираются отдельно. Опасные и громоздкие минеральные отходы перерабатываются отдельно	ТБО или отдельные фракции собранных отходов иногда смешиваются с мелкими фракциями минеральных и опасных отходов	ТБО регулярно смешиваются с фракциями минеральных и опасных отходов	ТБО смешивается с большим количеством минеральных и опасных отходов
	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	

3. Теплотворная способность ТБО для тепловых процессов, содержание органических веществ

3	Теплотворная способность ТБО составляет в среднем > 8 МДж/кг.	Теплотворная способность ТБО составляет в среднем от 7 до 8 МДж/кг.	Теплотворная способность ТБО < 7 МДж/кг. Высокое содержание биомассы с высокой средней влажностью.	Теплотворная способность ТБО < 7 МДж/кг. Содержание неорганических фракций (например, золы, пыли, песка, стекла, металлов) высокое.
	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	

4. Пригодные объемы отходов для ПОЭ

	наличие > 150000 метрических тонн пригодных для переработки фракций отходов в год	наличие от 50000 до 150000 метрических тонн пригодных для переработки фракций отходов в год	от 10000 до 50000 метрических тонн пригодных для переработки фракций отходов в год	< 10000 метрических тонн пригодных для переработки фракций отходов в год
4	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего

5. Эффективная работа мусороперерабатывающих предприятий

	Государственные и частные компании имеют опыт эффективного, в том числе совместного, управления объектами по обращению с отходами	Государственные или частные компании имеют опыт, но требуют наращивания потенциала для эффективного управления объектами ПОЭ	Государственные компании имеют ограниченный опыт работы с ПОЭ, и набор квалифицированных национальных сотрудников затруднен для государственного и частного секторов	Ни государственные, ни частные компании не имеют опыта работы с системами ПОЭ.
5	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего

6. Дополнительное время и расстояние доставки ТБО на завод ПОЭ

	Расстояние или время транспортировки вряд ли изменится по сравнению с нынешней ситуацией.	Время перевозки увеличится < 1 часа, дополнительное расстояние < 50 км.	Время транспортировки увеличится >1 час. Дополнительное расстояние перевозки > 100 км.	Дополнительное расстояние перевозки > 200 км и железнодорожный транспорт не предоставляется.
6	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего

7. Сбыт и / или окончательное удаление технологических остатков

7	Существует рынок для технологических остатков. Опасные остатки могут быть безопасно утилизированы на контролируемом санитарно-техническом полигоне вблизи завода ПОЭ.	Отсутствие рынка для технологических остатков. Все технологические остатки могут быть безопасно утилизированы на контролируемом санитарно-техническом полигоне вблизи завода.	Отсутствие рынка для технологических остатков. Для безопасной утилизации необходима транспортировка на значительные расстояния	Отсутствие рынка для технологических остатков и безопасная утилизация технологических остатков не может быть выполнена
	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	

8. Правовая база и экологические требования к ПОЭ

8	Существует всеобъемлющая правовая база, учитывающая все виды ПОЭ. Законы соблюдаются, и национальная стратегия управления отходами включает в себя и ПОЭ	Национальная правовая база для ПОЭ существует. Любые недостатки на уровне правоприменения, постановлений и подзаконных актов устраняются.	Национальная правовая база для ПОЭ отсутствует или существует частично. Соблюдение международных стандартов в конкретных проектах может быть обеспечено.	Существующая правовая база запрещает производить термическую ПОЭ, или имеются признаки того, что достаточные стандарты выбросов не могут быть соблюдены.
	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	

9. Финансирование управления ТБО

9	Затраты на сбор и утилизацию ТБО всегда покрываются в полном объеме. Финансовые средства для покрытия дополнительных расходов на ПОЭ доступны	Затраты на сбор и утилизацию ТБО всегда покрываются в полном объеме. Возможны трудности с покрытием дополнительных расходов на ПОЭ.	Расходы на сбор и удаление ТБО не могут покрываться на регулярной основе.	Часто ощущается нехватка финансовых средств для покрытия эксплуатационных расходов на услуги по УТО.
	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	

10. Доступ к иностранной валюте

10	Запасные части можно приобрести на месте эксплуатации. Отсутствие ограничений на покупку запчастей в иностранной валюте.	Большинство запасных частей можно приобрести на месте эксплуатации. Офисы продаж импортных запчастей расположены на месте эксплуатации.	Ключевые технологии завода ПОЭ должны импортироваться. Задержки доступа к иностранной валюте для совершения закупок в иностранной валюте	Отсутствие доступа к иностранной валюте
	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	

11. Доступ к конечным потребителям энергии ПОЭ

11	Объекты ПОЭ или производства топлива из отходов расположены вблизи промышленной зоны с потребностью в электроэнергии и тепле/газе. Существует адекватная транспортная и энергетическая инфраструктура.	Объекты ПОЭ или производства топлива из отходов расположены в зоне с умеренной потребностью в тепловой энергии. Существует адекватная транспортная и энергетическая инфраструктура.	Объекты ПОЭ или производства топлива из отходов расположены вблизи крупной сети электропередачи. Отсутствие локального спроса на тепловую энергию.	Объекты ПОЭ или производства топлива из отходов расположены в зоне, не имеющей необходимой сети подключения к потребителям энергии.
	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	

12. Стимулы для низкоуглеродного производства электроэнергии

12	Экономические стимулы для низкоуглеродного производства тепла и электроэнергии уже успешно применяются	Экономические стимулы для низкоуглеродного производства электроэнергии из отходов регулируются законодательно, но еще не применяются	Введение экономических стимулов, скорее всего, произойдет в течение года	Отсутствие экономических стимулов
	Сжигание	Сжигание	Сжигание	Сжигание
	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка	Совместная переработка
	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание	Анаэробное сбраживание
	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа	Улавливание свалочного газа
Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	Пиролиз и производство газообразного горючего	

4.3 Рекомендации

После прочтения глав 1-3 и использования матрицы главы 4.2. могут возникнуть некоторые вопросы. Следующие рекомендации могут дать дополнительные ориентиры.

Для принимающих решения лиц на национальном и местном уровнях:

- » **Оценить, является ли ПОЭ оптимальным решением с точки зрения иерархии отходов и безотходной экономики:** Первоочередное внимание следует уделять сокращению отходов путем их предотвращения с последующей подготовкой к повторному использованию и вторичной переработке отходов. Оцените имеющийся поток отходов и определите дополнительный потенциал для повторного использования и вторичной переработки отдельных фракций отходов.
- » **Принимать решения на основе плана УТБО:** решения должны приниматься только на основе интегрированного плана управления ТБО, основанного на анализе материальных потоков и соблюдающего концепцию иерархии отходов. ПОЭ – это не автономное решение, а потенциально интересный элемент системы переработки отходов.
- » **Получить ответ на все поля, отмеченные желтым цветом в матрице решений:** даже если ваша внутренняя оценка с помощью матрицы благоприятствует ПОЭ, все еще могут остаться слабые места, нуждающиеся в дальнейших разъяснениях. Обратитесь за помощью к независимому советнику или эксперту, чтобы получить ответы на свои вопросы.
- » **Обеспечить соответствие проекта международным стандартам выбросов:** прежде чем приступить к осуществлению проектов (особенно в отношении сжигания, совместной переработки, альтернативных технологий), необходимо создать системы мониторинга выбросов. Обеспечить, чтобы контроль за соблюдением стандартов выбросов осуществлялся независимыми органами. Это может потребовать внесения изменений в правовую базу.
- » **Создание системы финансирования, позволяющей покрывать расходы на эксплуатацию заводов ПОЭ:** поскольку заводы ПОЭ нуждаются в дополнительных финансовых источниках для возмещения всех расходов, должны применяться дополнительные механизмы финансирования. Помимо прямых доходов от домашних хозяйств за счет налогов и тарифов на отходы, существуют три дополнительных источника дохода: субсидии, проходные пошлины или зеленые тарифы на электроэнергию.
- » **Обеспечить межведомственное сотрудничество:** во многих развивающихся странах ПОЭ часто ассоциируется с министерствами или ведомствами энергетического сектора. Однако их интерес должен заключаться не в максимальном производстве энергии из отходов, а в оптимизации извлечения энергии из тех фракций отходов, которые с технической или коммерческой точки зрения не могут быть вторично переработаны. Поэтому важное значение имеет тесное сотрудничество с органами, отвечающими за управление отходами и/или защиту климата.
- » **Поощрение и предложение мер по наращиванию потенциала:** Нехватка специалистов в области планирования, эксплуатации и мониторинга установок ПОЭ оказывает сильное воздействие на УТБО. Дайте муниципальным сотрудникам департамента отходов возможность расширить свои знания и поддержите академические и научные инициативы, способствующие образованию в секторе.

- » **Оценить возможности для сбора метана на существующих мусорных полигонах:** важно уменьшить климатическое воздействие мусорных полигонов. Объекты по сбору свалочного газа требуют реалистичного прогнозирования будущих объемов производства свалочного газа с учетом увеличения будущих темпов отвода отходов со полигонов.
- » **В случае ограниченного опыта термической переработки отходов, начните с совместной переработки:** Поскольку совместная переработка отходов в цементных печах уже широко используется во многих развивающихся странах, этот вариант ПОЭ может быть реализован в короткие сроки. Цементные заводы существуют почти во всех странах мира и могут быть модернизированы для внедрения технологии производства топлива из отходов (RDF) с ограниченными инвестициями. Внедрение технологии совместной переработки также способствует налаживанию сотрудничества между муниципалитетами и промышленным сектором и использованию значительного международного опыта в области совместной переработки в развивающихся странах. Потенциальными ограничивающими факторами являются низкие проходные пошлины за утилизацию отходов, расстояние от места образования отходов до цементного завода и низкие цены на ископаемое топливо (уголь, петкокк и т.д.).
- » **Содействие разделению отходов у источника и продвижение идеи децентрализованных установок анаэробного сбраживания отдельно собранной биомассы:** не начинайте с большого масштаба. Дайте вашему муниципалитету и гражданам возможность получить опыт разделения отходов, планирования и эксплуатации биогазовых установок.
- » **Расширение сотрудничества с частным сектором:** муниципалитеты не смогут в одиночку справиться с будущими трудностями в области УТБО. Поэтому местные власти должны создать атмосферу доверия и надежные правовые и финансовые рамочные условия с тем, чтобы сектор отходов стал привлекательным для частных инвесторов и операторов.

Для национальных и международных компаний:

- » **Разработка методов сжигания, соответствующих местным условиям:** мусоросжигательные заводы, установленные в промышленно развитых странах, слишком дороги для большинства городов развивающихся стран. Существует глобальная потребность в разработке новых и адекватных технологий, учитывающих состав отходов в городах развивающихся стран с тем, чтобы инвестиции и эксплуатационные расходы могли быть профинансированы.
- » **Избегайте создания плохой репутации сектора:** среднесрочный и долгосрочный успех ПОЭ зависит от репутации, приобретенной эффективно управляемыми заводами. Отраслевые ассоциации и отдельные компании должны минимизировать риск превращения заводов ПОЭ в дорогостоящих «белых слонов».

Приложение А: Описание параметров матрицы решений

1. ОБЩИЙ УРОВЕНЬ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ

- » Основным требованием для успешного внедрения технологий ПОЭ является наличие передовой системы управления отходами, основанной на раздельном сборе и переработке различных потоков отходов, разделенных у источника. Биомасса, такая как кухонные и садово-огородные отходы, сбраживаются и/или компостируются. Пригодные для вторичной переработки отходы, такие как бумага, картон, ПЭТ, стекло, металлы и т. д. сортируются и направляются в перерабатывающую промышленность. Управление опасными отходами контролируется. Оставшиеся фракции ТБО, не подлежащие дальнейшей переработке, вывозятся на контролируемый полигон.
- » Международный опыт показывает, что внедрение современных методов совместной переработки и сбора свалочного газа может быть успешным при наличии систематизированной системы сбора отходов и возможности переработки отдельных потоков отходов, таких как шины или биомасса, на специализированных заводах. Анаэробное сбраживание требует раздельного сбора биомассы, так как любое загрязнение другими фракциями ТБО может вызвать проблемы с технологическим процессом и использованием остатков сбраживания в сельском хозяйстве. На этом уровне управления отходами пригодность сжигания должна быть детально оценена до начала проекта, так как может потребоваться некоторое улучшение системы управления отходами.
- » В отсутствие систематической вторичной переработки улавливание свалочного газа может быть жизнеспособным решением, не требующим существенного улучшения общего уровня УТБО.
- » Из-за ограниченного опыта и высоких капитальных и эксплуатационных затрат, применимость и планирование проектов пиролиза и производства газообразного горючего должны быть рассмотрены очень тщательно на всех уровнях УТБО.

2. СОСТАВ ОТХОДОВ

- » Разделение ТБО у источника в домашних хозяйствах является оптимальным исходным условием внедрения технологий вторичной переработки и ПОЭ. Опасные и громоздкие минеральные отходы должны собираться и перерабатываться раздельно.
- » Как уже говорилось, для анаэробного сбраживания необходим раздельный сбор органических отходов. Анаэробное сбраживание не является приемлемым решением, если раздельно собранные отходы смешиваются с минеральными или опасными отходами, даже в небольших количествах.
- » Если ТБО регулярно смешиваются с опасными и минеральными фракциями, то пригодность каждой технологии ПОЭ подлежит регулярной переоценке. Следует инициировать меры по улучшению разделения отходов у источника (например, внедрить раздельный сбор и переработку строительных отходов и отходов сноса, а также батарей).
- » Сбор свалочного газа остается актуальным там, где на санитарно-технических полигонах хранятся значительные объемы органических отходов.

3. ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ТБО ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ, СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

- » Автотермическое сжигание (самоподдерживающееся сжигание без дополнительного топлива) ТБО должно обеспечиваться в течение всего года для сжигания и совместной переработки. Совместное сжигание нефти, газа или других видов топлива является дорогостоящим и должно применяться только для запуска процесса горения или в чрезвычайной ситуации. При использовании технологий сжигания и совместной переработки теплотворная способность является одним из показателей, определяющих пригодность ТБО для данного процесса. Высокое содержание минеральных веществ в строительных отходах и отходах сноса, в стекле или золе, а также высокое содержание металла или влажности в кухонных и садово-огородных отходах уменьшает теплотворную способность таких отходов. При теплотворной способности отходов > 8 МДж/кг все технологии сжигания являются приемлемыми для проектов ПОЭ.
- » Технологии сжигания с усовершенствованной интегрированной стадией сушки позволяют сжигать влажные ТБО с теплотворной способностью около 7 МДж/кг. В случае применения технологии совместной переработки минимальная допустимая влажность должна быть уточнена, и технологии сушки должны быть оценены до начала проекта ПОЭ.

- » Если теплотворная способность отходов < 7 МДж/кг ввиду их высокой влажности, то для всех технологий сжигания минимальная приемлемая влажность должна быть уточнена, и технологии сушки оценены. Если минеральные отходы являются основной причиной низкой теплотворной способности, то до начала внедрения технологий ПОЭ следует усовершенствовать общую систему управления отходами.
- » Низшая теплотворность тепловых процессов не может напрямую сравниваться со сбором свалочного газа и анаэробным сбраживанием. Однако энергосодержание органического сырья для анаэробного дигестера оказывает влияние на энергосодержание выхода биогаза. Чем выше энергосодержание сырья, тем выше качество биогаза. Эффективность сбора свалочного газа зависит от существующих условий на полигоне, в том числе от доли осажденных органических отходов и порядка их слоистости.

4. НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПОЭ ОБЪЕМЫ ОТХОДОВ

- » Выбор технологии ПОЭ также зависит от имеющегося количества отходов и сопутствующих минимальных требований экономически обоснованной эксплуатации перерабатывающего оборудования. В этом контексте под «имеющимся количеством» понимаются подходящие фракции отходов, которые могут доставляться на перерабатывающее предприятие по приемлемой стоимости и не могут быть вторично переработаны с извлечением экономической прибыли. Завод ПОЭ также не должен быть причиной инфраструктурной блокировки, препятствующей созданию перерабатывающей инфраструктуры соответствующих потоков отходов.
- » При загрузке более 150000 метрических тонн отходов в год все технологии подходят. Однако с учетом ограниченного международного опыта в области пиролиза и производства газообразного горючего другие технологии представляются более благоприятными.
- » При объемах отходов в пределах от 50000 до 150000 метрических тонн в год экономическую эффективность сжигания следует оценивать особенно тщательно. Более благоприятными являются совместная переработка, сбор свалочного газа и анаэробное сбраживание.
- » Сжигание объемов отходов менее 50000 метрических тонн слишком дорого. Экономическая эффективность совместной переработки может быть снижена низкими ценами на уголь и петкокс. Если количество отходов составляет менее 10000 метрических тонн в год, анаэробное сбраживание может быть единственной благоприятной технологией при приемлемом качестве биомассы.
- » Сбор свалочного газа зависит от количества органических веществ на полигоне и может использоваться в качестве ретроактивной меры после закрытия полигона, что делает этот параметр менее актуальным при наличии возможности сбора достаточного количества метана для обеспечения рентабельности этой технологии.

5. ЭФФЕКТИВНАЯ РАБОТА МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

- » Объекты по управлению отходами могут эксплуатироваться государственным сектором, частным сектором или совместно государственным и частным секторами. Национальный опыт эффективно управляемых полигонов, крупных станций очистки сточных вод (государственный сектор) и крупных химических или цементных заводов (частный сектор) свидетельствует о том, что сложные системы могут управляться на местном уровне. Тем не менее в отношении иностранных технологий ПОЭ долгосрочная поддержка со стороны поставщиков технологий должна обеспечиваться на договорной основе. Из опыта прошлых неудачных проектов по управлению отходами ясно, что ПОЭ требует опытного управления и хорошо обученного технического персонала. Хорошее взаимопонимание между государственными и частными предприятиями является важным предварительным условием. При соблюдении таких предварительных условий все технологии могут быть успешными кандидатами на проект ПОЭ, за исключением пиролиза и производства газообразного горючего, в связи с ограниченным международным опытом в области переработки разнородных ТБО.
- » Большинство операторов нуждаются в наращивании потенциала в области ПОЭ даже при наличии у них опыта управления инфраструктурой переработки отходов. Цементные заводы часто принадлежат международным компаниям с собственным опытом в совместной переработке, который они могут предоставить. Сбор свалочного газа представляет собой самую простую в техническом отношении технологию. Технологии совместной переработки и сбора свалочного газа представляются наиболее благоприятными до тех пор, пока знания о других технологиях не будут доступны на местном уровне.

- » В случае отсутствия у государственных предприятий достаточного опыта работы в области ПОЭ и трудности найма квалифицированного национального персонала сбор свалочного газа является наиболее благоприятной технологией. Необходимость наращивания потенциала для совместной переработки и анаэробного сбраживания должна быть тщательно оценена; данные технологии проще во внедрении по сравнению со сжиганием, пиролизом и производством газообразного горючего.
- » Если ни государственные, ни частные предприятия не имеют опыта работы с системами ПОЭ, сбор свалочного газа является единственной возможностью после некоторого базового наращивания потенциала.

6. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ И РАССТОЯНИЕ ДОСТАВКИ ТБО НА ЗАВОД ПОЭ

- » В дополнение к доступу к конечным пользователям произведенной энергии следует учесть экономическое и экологическое воздействие дополнительной транспортировки отходов на предприятия ПОЭ. Каждый дополнительный километр автомобильной перевозки отходов увеличивает расходы на сбор отходов, а также способствует образованию дорожных заторов и увеличению выбросов парниковых газов в городских районах. В идеале расстояние или время автомобильной перевозки отходов должно остаться неизменными в существующей ситуации с управлением отходами или должно сократиться.
- » Увеличение времени транспортировки менее чем на 1 час или дополнительное расстояние менее 50 км считается допустимым для ПОЭ. Для увеличения дополнительного времени транспортировки >1 часа или дополнительного расстояния транспортировки > 100 км энергосодержание транспортируемых отходов должно быть высоким, чтобы быть экономически и экологически целесообразным. Для дополнительного расстояния перевозки > 200 км единственным законным транспортным средством является железнодорожный транспорт, однако им трудно управлять и, возможно, он нереалистичен для ТБО.
- » Использование сбора свалочного газа на существующих полигонах подразумевает, что отходы будут транспортироваться на одинаковое расстояние. Новые СТП также должны размещаться с учетом расстояний доставки отходов с целью максимального увеличения эффективности сбора.

7. ЖИЗНЕСПОСОБНЫЙ РЫНОК И/ИЛИ ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ УДАЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ ПОЭ

- » За исключением технологий совместной переработки на цементных заводах и сбора свалочного газа, все остальные технологии ПОЭ сопровождаются образованием технологических остатков. Если в текущей ситуации имеется рынок сбыта для аналогичных технологических остатков, и опасные остатки могут быть безопасно утилизированы на контролируемом полигоне вблизи завода ПОЭ, все технологии могут рассматриваться в качестве приемлемых кандидатов на проект ПОЭ.
- » Если рынок для технологических остатков не развит, но все технологические остатки могут быть безопасно утилизированы на контролируемом полигоне рядом с заводом, то экономическая целесообразность сжигания, анаэробного сбраживания, пиролиза и производства газообразного горючего должна быть тщательно оценена. В этой ситуации наиболее подходящими являются технологии совместной переработки и сбора свалочного газа.
- » Анаэробное сбраживание невозможно при больших расстояниях транспортировки компоста для продажи и в отсутствие долгосрочных рыночных перспектив. Компост высокого качества, получаемый в результате переработки тщательно разделенных и контролируемых потоков органических отходов, представляет собой важный показатель качества переработки отходов.

8. LEGAL FRAMEWORK & ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS FOR WTE

- » Наличие всеобъемлющей правовой основы управления отходами является необходимым предварительным условием успешной реализации проекта ПОЭ. Законодательство должно включать высокие экологические стандарты в отношении выбросов в атмосферу, воду и почву, запахов и шума, а также требования охраны здоровья и безопасности. Оно также должно определять роль ПОЭ в рамках комплексной системы управления отходами. Законодательство должно быть адаптировано к национальным условиям, а не просто скопировано из промышленно развитой страны.

- » Эффективные правоприменительные механизмы должны сводить к минимуму незаконную практику управления отходами для обеспечения функционирования цепочки поставок отходов на предприятия ПОЭ. Однако законодательство должно быть скорее направлено на сотрудничество с неформальным сектором в области логистики сбора отходов, а не на его дальнейшую маргинализацию. Международные стандарты предельных уровней выбросов, мониторинга и контроля соблюдения должны быть гарантированы. Государственные органы должны быть достаточно подготовлены и оснащены для обеспечения соблюдения экологических стандартов.
- » В то время как совместная переработка и сбор свалочного газа в основном строятся на существующих и зачастую уже регламентируемых установках, анаэробное сбраживание, пиролиз и сжигание отходов требуют более конкретного регулирования, например, в отношении возможных методик повторного использования технологических остатков. Существующая правовая база, возможно, все еще имеет некоторые недостатки. Изменения, допускающие современную совместную обработку и сбор свалочного газа, зачастую требуют лишь внесения изменений в постановления и подзаконные акты, что, как правило, легче, чем политический процесс принятия новых законов. В таких условиях современную совместную обработку и сбор свалочного газа следует рассматривать в качестве наиболее простых технологий для внедрения, в то время как другие технологии ПОЭ требуют разработки более обширных правовых рамок для их реализации.
- » В некоторых странах существует политический консенсус в отношении адаптации правовых рамок для ПОЭ. В зависимости от прогресса в разработке всеобъемлющей правовой основы, возможно, целесообразно начать процесс разработки или внесения поправок в законы и подзаконные акты, классифицирующие совместную переработку, сбор свалочного газа и анаэробное сбраживание в качестве благоприятных технологий.
- » В некоторых странах запрещена термическая обработка отходов, что исключает возможность внедрения технологий совместной переработки, сжигания, пиролиза и производства газообразного горючего. Технологии ПОЭ может считаться подходящей только в том случае, если она не противоречит иерархии отходов или общей стратегии управления отходами страны или штата.

9. ФИНАНСИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ТБО

- » Постоянное наличие финансовых средств имеет решающее значение для долгосрочного применения технологий ПОЭ. Следует допускать возможность того, что проекты ПОЭ приведут к более высоким затратам на переработку отходов по сравнению с санитарно-техническими полигонами. В таблицах 2-6 показаны значимые чистые затраты на переработку одной тонны отходов для типичных проектов ПОЭ в пяти технологиях.
- » Прежде чем рассматривать ПОЭ как возможность, муниципалитеты должны быть в состоянии полностью покрыть расходы на сбор и захоронение ТБО на контролируемом полигоне; дополнительные финансовые средства для покрытия дополнительных расходов должны быть легко доступны. В долгосрочной перспективе желательно взимать плату с производителей отходов на основе принципа «загрязнитель платит», в то время как текущие управленческие расходы могут покрываться главным образом из муниципального бюджета. В частности, повышение платы за захоронение отходов может способствовать реализации других возможных технологий управления отходами.
- » Если увеличение сбора за отходы не может быть осуществлено, или муниципалитеты не хотят или не могут увеличить бюджет, то перед началом проекта ПОЭ необходима детальная оценка затрат независимыми экспертами и/или поиск альтернативного долгосрочного финансирования с помощью альтернативных финансовых инструментов. В тех случаях, когда долгосрочные варианты финансирования отсутствуют, муниципалитеты, скорее всего, останутся с законопроектом, что приведет либо к остановке деятельности, либо к нежелательным дополнительным расходам для муниципалитета.

10. ДОСТУП К ЗАПАСНЫМ ЧАСТЯМ И ИНОСТРАННОЙ ВАЛЮТЕ

- » Доступ к иностранной валюте имеет важное значение для приобретения запасных частей, отсутствующих на локальном рынке, так как в противном случае поломка детали может привести к остановке операций или несоблюдению рабочих стандартов.
- » Если запасные части могут быть приобретены на локальном рынке, и нет никаких ограничений на покупку запасных частей в иностранной валюте, могут рассматриваться любые технологии ПОЭ.
- » Если большая часть запасных частей может быть приобретена на местном рынке, а торговые представительства иностранных производителей готовы доставить необходимые запасные части на локальный рынок, то ожидаемая стоимость запасных частей и доступ к иностранной валюте должны быть оценены до начала проекта ПОЭ. Сбор свалочного газа считается менее важным.
- » Если ключевая технология завода ПОЭ должна быть импортирована, или возможны задержки в получении доступа к покупкам в иностранной валюте, то технологии сжигания, пиролиза и производства газообразного горючего не должны выбираться. Без доступа к иностранной валюте сбор свалочного газа может быть единственным вариантом, но также потребует оценки затрат.

11. ДОСТУП К КОНЕЧНЫМ ПОТРЕБИТЕЛЯМ ЭНЕРГИИ, ИЗВЛЕКАЕМОЙ С ПОМОЩЬЮ ПОЭ

- » Выбор места для строительства завода ПОЭ зависит среди прочего от доступа конечных пользователей к энергии. Выбор места строительства и доходы должны быть рассмотрены до начала проекта. Промышленные зоны могут извлекать выгоду от использования получаемой электроэнергии, тепла и биогаза. Инвестиции в централизованное теплоснабжение для подачи технологического пара высоки, но также приносят ценный доход. Свалочный газ или биогаз, получаемые на предприятиях анаэробного сбраживания, могут подаваться в близлежащую газораспределительную сеть. Замена дизельного топлива биогазом или СГ в качестве топлива для транспортировки также является ценным вариантом. Место сбора и совместной переработки свалочного газа обычно заранее определяется с учетом местоположения существующих полигонов, цементных заводов или электростанций.
- » Если проект расположен в районах без или только с умеренным спросом на тепло или газ, доходы от продажи энергии будут ниже. Переработка всего тепла в электричество является возможным вариантом, но не самым экономичным, так как коэффициент полезного действия переработки тепла в электричество гораздо ниже, чем прямое использование газа или пара. Места с плохой связью с конечными потребителями энергии находятся в существенно неблагоприятном положении с точки зрения ПОЭ, поскольку это подразумевает ограниченное использование восстановленной энергии и увеличение чистых эксплуатационных расходов.

12. СТИМУЛЫ ДЛЯ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- » Продажа энергии из отходов, т. е. электроэнергии, газа и тепла, должна осуществляться по конкурентной цене вне зависимости от рыночных колебаний цен на традиционные виды ископаемого топлива, такие как нефть, уголь и газ. Когда это случается экономическая целесообразность завода ставится под угрозу, делая необходимым получение дохода от продажи энергии заводов ПОЭ с целью обеспечения стабильной долгосрочной прибыли, необходимой для управления отходами. Регулирующие стимулы (такие как льготные тарифы) для низкоуглеродного производства энергии не только будут поддерживать ПОЭ, но и могут способствовать достижению национальных целевых показателей, определенных в ОНУВ (Определяемых на национальном уровне вкладов) Парижского соглашения об изменении климата.
- » Уже успешное применение стимулов для низкоуглеродистой энергетики свидетельствует о наличии хорошего потенциала для всех технологий ПОЭ. Если такие стимулы существуют, но еще не применяются, в первую очередь следует оценить их эффективность для сжигания, анаэробного сбраживания, пиролиза и производства газообразного горючего.
- » Без реалистичной перспективы развития стимулирования, все заводы ПОЭ должны классифицироваться как рискованные.

Приложение В: Дальнейшее чтение

СПРАВОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ЕС ПО ПЕРЕРАБОТКЕ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ

Европейская комиссия, Комплексное предотвращение и контроль загрязнения, справочный документ о наилучших имеющихся методах сжигания отходов, Брюссель, 2006 г.

Европейская комиссия, Комплексное предотвращение и контроль загрязнения, справочный документ о наилучших имеющихся методах обработки отходов, Брюссель, проект декабря 2015 года.

<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ПОЭ

Средство ОРГ для быстрой оценки переработки отходов в энергию, 2016 г.

https://www.giz.de/de/downloads/giz2016-en-cwg_Rapid-Assessment-Tool_Waste-to-Energy.pdf

СЖИГАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Камук В, Руководство Международной ассоциации по твёрдым отходам: Переработка отходов в энергию в странах с низким и средним уровнем дохода, ISWA - Международная ассоциация твердых отходов, август 2013 года. www.iswa.org

Доклад Всемирного Банка о техническом руководстве: Сжигание твердых бытовых отходов, 1999 г.

<http://web.mit.edu/urbanupgrading/urbanenvironment/resources/references/pdfs/MunicipalSWIncin.pdf>

ПРОИЗВОДСТВО ТОПЛИВА ИЗ ОТХОДОВ И СОВМЕСТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА

Государственно-частное партнерство GTZ-Holcim, руководство по совместной переработке отходов в производстве цемента, 2006 г. <http://coprocem.com/>

Программа ООН по окружающей среде, Базельская Конвенция, технические руководящие принципы экологически обоснованной совместной переработки опасных отходов в цементных печах. Женева, 2012 г.

<http://www.basel.int/Implementation/Publications/TechnicalGuidelines/tabid/2362/Default.aspx>

АНАЭРОБНОЕ СБРАЖИВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Вогели И., Риу С., Галлардо А. с соавт., 2014 г., Анаэробное сбраживание биоотходов в развивающихся странах.

https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/Anaerobic_Digestion/biowaste.pdf

Веллингер А., Мерфи Дж., Бакстер Д., 2013 г., Справочник по биогазу. Наука, производство и применение. Издательство Вудхед

Биогаз – Безопасность прежде всего! Руководство по безопасному использованию биогазовой технологии, Отраслевое объединение Biogas e. V. и GIZ, ноябрь 2016 г. <http://www.biogas-safety.com>

УЛАВЛИВАНИЕ СВАЛОЧНОГО ГАЗА

Агентство по охране окружающей среды США, энергетическая модель стоимости свалочного газа, информационно-пропагандистская программа по метану мусорных полигонов, Версия 3.0, август 2014 г.

https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/lfgcost-webv3_manual.pdf

Ссылки

- [1] Д. С. Уилсон, Л. Родич, П. Модал, Р. Суз, А. Карпинтеро, К. Велис, М. Айер и О. Симонетт, «Обзор глобального управления отходами», Организация Объединенных Наций, Программа по окружающей среде и Международная ассоциация по твердым отходам, Осака и Вена, 2015 г.
- [2] Организация Объединенных Наций, Департамент по экономическим и социальным вопросам, Отдел народонаселения, «Мировые перспективы урбанизации: Обзор 2014 года, Основные Моменты», Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк, 2014 г.
- [3] Организация Объединенных Наций, Департамент по экономическим и социальным вопросам, «Вызовы устойчивому развитию», Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк, 2013 г.
- [4] Организация Объединенных Наций, Департамент по экономическим и социальным вопросам, Отдел народонаселения, «Мировые перспективы урбанизации: Обзор 2015 года, Основные Моменты», Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк, 2015 г.
- [5] Организация Объединенных Наций, Департамент по экономическим и социальным вопросам, демографические исследования, «Модели роста городского и сельского населения», Департамент по экономическим и социальным вопросам, Нью-Йорк, 1980 г.
- [6] Организация Объединенных Наций, Департамент по экономическим и социальным вопросам, Отдел народонаселения, «Вероятностные демографические прогнозы, основанные на мировых демографических перспективах: Обзор 2015 года, Основные Моменты», Организация Объединенных Наций, Нью-Йорк, 2015 г.
- [7] Д. Хурнвег и П. Бхада-Тата: «Что такое отходы: Глобальный обзор системы управления твердыми отходами. Серия документов по вопросам городского развития; информационный документ №15», Мировой банк, Вашингтон, округ Колумбия, 2012 г.
- [8] А. Мавропулос, Д. Уилсон, С. Велис, Дж. Купер и Б. Эппелквист, «Глобализация и управление отходами. Этап 1: Концепции и факты», Международная ассоциация твердых отходов, Вена, 2012 г.
- [9] Фонд Эллен Макартур, «На пути к безотходной экономике, возможности для сектора потребительских товаров», 2013 г.
- [10] Объединенная рабочая группа по управлению твердыми отходами в странах с низким и средним уровнем дохода, «Средство быстрой оценки технологий объединенной рабочей группы», 2016 г.
- [11] Швейцарский федеральный научно-исследовательский институт по водоснабжению, очистке сточных вод и защите водных ресурсов; Сандек, «Глобальная проблема отходов, ситуация в развивающихся странах», Швейцарский федеральный научно-исследовательский институт по водоснабжению, очистке сточных вод и защите водных ресурсов и Сандек, Дубендорф, 2008 г.
- [12] ЕС, «Директива 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета от 24 ноября 2010 года о промышленных выбросах (комплексное предотвращение и контроль загрязнения)», EUR-Lex, Брюссель, 2010 г.
- [13] ЕС, «Комплексное предотвращение и контроль загрязнения, справочный документ о наилучших имеющихся методах сжигания отходов», Европейская комиссия, Брюссель, 2006 г.
- [14] Диаграмма предоставлена компанией Компанией Doosan Lentjes GmbH и адаптирована для настоящего руководства.
- [15] Всемирный банк, «Сжигание твердых бытовых отходов», Международный банк реконструкции и развития, Вашингтон, округ Колумбия, 1999 г.
- [16] SEMBUREAU, «Отчет о деятельности в 2015 году», Европейская цементная ассоциация, Брюссель, 2015 г.
- [17] GIZ, «Руководство по применению технологий переработки отходов в энергию во Вьетнаме», 2015 г.
- [18] Д. Мутц и В. Нандан, «Совместная переработка отходов производства цемента. Государственно-частное партнерство GTZ-Holcim», Международный журнал экологических технологий и управления, стр. 300-309, 2006 г.

- [19] ЕС, «Отказ от вторичного топлива, текущая практика и перспективы (B4-3040/2000/306517/MAR/E3) Ссылка WRC: CO5087-4», Европейская комиссия, Брюссель, 2003 г.
- [20] Секретариат Базельской Конвенции, «Технические руководящие принципы экологически обоснованной совместной переработки опасных отходов в цементных печах», 2012 г.
- [21] Всемирный Совет деловых кругов по устойчивому развитию (ВСПУР), «Руководство по совместной переработке топлива и сырья в производстве цемента», 2014 г.
- [22] Исполнительный совет Механизма чистого развития «Проектно-технический документ ЦЕМЕКС Мексика: Проект переработки биомассы на цементном заводе Хуичапан, версия 3», 2012 г.
- [23] А. Веллингер, Д. Мерфи и Д. Бакстер, Справочник по биогазу. Наука, производство и применение, Кембридж: Издательство Вудхед, 2013 г.
- [24] Ю. Вогели, С. Р. Лохри, А. Галлардо, С. Динер и С. Цурбругг, «Анаэробная переработка биологических отходов в развивающихся странах», Швейцарский федеральный научно-исследовательский институт по водоснабжению, очистке сточных вод и защите водных ресурсов, Дюбендорф, 2014 г.
- [25] Изображение взято со стр. 8 книги «Переработка биоотходов в биогаз», Отраслевое объединение «Биогаз», Фрайзинг, 2016 г. Доступно онлайн по адресу: <http://www.biowaste-to-biogas.com/>.
- [26] Отраслевое объединение «Биогаз», «Переработка биоотходов в биогаз», Фрайзинг, 2016 г.
- [27] У. Базерга, «Старение органических остаточных материалов в сельскохозяйственных биогазовых установках, отчет FAT № 5», Лабораторные исследования для сельского хозяйства и сельскохозяйственной техники 2000 г.
- [28] Р. Уайт и Г. Пери, «Примерное руководство по определению расходов по реализации технологии анаэробного сбраживания и удалению ТБО», Возобновляемые источники энергии, 2001 г.
- [29] Дж. Раппорт, Р. Чжан, Б. М. Дженкинс и Р. Б. Уильямс, «Современные технологии анаэробного сбраживания, используемые для переработки муниципальных органических твердых отходов», Калифорнийское агентство по охране окружающей среды, 2008 г.
- [30] РККООН, «Рамочная Конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата» [доступно онлайн]. Доступно по ссылке: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. [Accessed May 2016].
- [31] К. Ванг-Яо, С. Тоупрейун, С. Чимчайсри, С. х. Гиевала и А. Нофаратана, «Сезонные вариации выбросов метана на полигонах в семи местах захоронения твердых отходов в центральном Таиланде», на 2-й совместной международной конференции по устойчивой энергетике и окружающей среде (УЭОС 2006 год), Бангкок, 2006 г.
- [32] Изображение основано на "http://www.advanceddisposal.com/media/10751/landfill_gas_to_energy_diagram_946x333.jpg," [доступно онлайн].
- [33] Агентство охраны окружающей среды, «Энергетические проекты на СГ, часто задаваемые вопросы. www3.epa.gov/lmop/faq/lfg.html посещено в августе 2016 года».
- [34] МЧР - Исполнительный совет, «Проектно-конструкторская документация, Проект управления свалочным газом Сальвадор да Баия, Версия 8.2», 2016 год. [доступно онлайн]. Доступно по ссылке: <https://cdm.unfccc.int/Projects>.
- [35] С. -. Е. Борд, «Проектно-техническая документация, Проект сбора свалочного газа и производства электричества Тяньцзинь Шуангкоу, Версия 9, 2014 год. Доступно по ссылке: <https://cdm.unfccc.int/Projects>».
- [36] «www.dgengineering.de,» [Онлайн]. Доступно по ссылке: <http://www.dgengineering.de/images/Fliessbild-Pyrolyse-D-1.jpg>.
- [37] Ф. Н. В, «Изучение практического примера термо-селективного предприятия Карлсруэ», TNO Экология, Энергетическая и технологическая инновация, Нидерланды, 2002 г.

Немецкое Общество по
Международному Сотрудничеству (GIZ)
ГmbH

Зарегистрированные офисы
в Бонне и Эшборне

Фридрих-Эберт-Аллее 36 + 40 53113 Бонн, Германия Тел. +49 228 44 60 - 0 Факс +49 228 44 60 - 17 66	Даг-Хаммершельд-Вег 1 - 5 65760 Эшборн, Германия Тел. +49 61 96 79 - 0 Факс +49 61 96 79 - 11 15
---	---

Электронная почта info@giz.de
Веб-сайт www.giz.de

От имени



Федеральное министерство
экономического сотрудничества
и развития