

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 628.336.09 LOO 1,57(043.3)

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И УСТРОЙСТВ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОРГАНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

*канд. техн. наук, доц. Р.А. АНДРЕЕВА, д-р техн. наук, проф. Г.Н. АБАЕВ
(Полоцкий государственный университет)*

Представлен анализ известных технических решений в области переработки органосодержащих отходов. Оценка проводится с учетом глубины переработки органического субстрата и возможности его конвертирования в новые товарные продукты, а также экологичности рассматриваемых технологий.

Органосодержащие отходы являются составной частью жизни людей. Рост народонаселения планеты, урбанизация сопровождаются ростом объемов промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных отходов, пятая часть которых включает органический субстрат.

Органические отходы могут представлять как значительную угрозу (ввиду нестабильности и подверженности распаду), так и постоянный материальный и энергетический ресурс общества. Объем подобных отходов в Беларуси составляет 5...6 млн. т в год по сухому беззольному веществу, что при средней их калорийности 20...21 МДж/кг эквивалентно 4...6 млн. т условного топлива [1].

Анализ научно-технической литературы показывает, что в настоящее время наметились три тенденции в области организованной утилизации органических отходов. Первая связана с максимальным уменьшением объемов отходов и стабилизацией составляющих их органических веществ любым известным способом с последующим складированием или захоронением (нерекуперативная переработка). Вторая - с рекуперацией органического вещества отходов и получением нового товарного продукта и энергии. Третья - ликвидная концепция различными приемами - применяется в основном к высокотоксичным отходам.

Однако наиболее часто используется самый дешевый способ - складирование на свалках, иловых картах и спецполигонах. Разложение органического вещества с большей или меньшей скоростью сопровождается образованием жидких, газообразных продуктов не только дурнопахнущих, но и небезопасных для здоровья людей (нитриты, сульфиды, меркаптаны, диоксид углерода, аммиак, метан и пр.). Если условно принять долю углерода и азота в беззольном веществе отходов порядка 50 и 5...6 % соответственно, а степень распада за год около 50 %, то расчетные выбросы в атмосферу только газообразных продуктов составят по CO_2 , CH_4 , NH_3 примерно 3,6, 0,7 и 0,22 млн. т в год соответственно. Если принять за расчетную единицу (обсуждаемую) в Европе 4...5 евро за выброс в атмосферу 1 т тепличных газов, то Республика Беларусь ежегодно должна выплачивать порядка 20 млн. евро в год за открытую форму складирования органосодержащих отходов. Кроме того, жидкие и плотные продукты спонтанного распада отходов, являясь небезопасными для здоровья людей соединениями, аккумулируются в почве и далее по трофической цепи - растениями, животными (рыбой), накапливаясь в этих организмах в концентрациях в сотни и тысячи раз больших, чем в окружающей их среде.

К широко известным и издавна используемым приемам рекуперативной переработки органических отходов относятся их ферментация в аэробных и/или анаэробных условиях: компостирование, аэробная стабилизация (минерализация), анаэробное сбраживание (метаногенез) и их разновидность - подземное захоронение.

Под рекуперацией в данном случае имеется в виду возможность в процессе биохимической обработки отходов получить стабильный продукт, обладающий свойствами удобрения (в основном по углероду и азоту).

Компостирование и аэробная стабилизация являются близкими по химизму процессами, осуществляемыми микроорганизмами в присутствии кислорода. При этом распад органических веществ составляет до 50 %, из них жиров около 70 % и белков около 30. Углеводы количественно практически не уменьшаются.

Время стабилизации зависит также от расхода воздуха (кислорода) (от 0,3 до 1,1 кВт ч/кг O_2) и температурного режима (при температурах 42...70 °С процессы улучшаются).

Компостирование более сложный и многоплановый процесс по сравнению с аэробной стабилизацией, поскольку является процессом и деструктивным, и синтетическим одновременно.

Стабилизация органического вещества проходит через первичный распад сложных соединений с последующим их гумифицированием.

К достоинствам этих приемов следует отнести: простоту организации технологии; возможность получения органоминеральных удобрильных (структурообразующих) смесей, а к недостаткам - возможность применения их лишь к органосодержащим отходам определенного санитарно-гигиенического качества (отсутствие гельминтов, паразитов, патогенных микроорганизмов, солей тяжелых металлов, ядохимикатов и др.); неэффективная рекуперация органических соединений, которые теряются частично (до 50 %) в виде CO_2 и H_2O необходимость значительного расхода воздуха (энергии) на аэрацию; подведение дополнительного тепла. Кроме того, аэробная стабилизация сопровождается выбросами в атмосферу не только CO_2 , влаги, но и ряда дурнопахнущих соединений,

В настоящее время анаэробная переработка разнообразных (по происхождению) отходов широко используется во многих странах, И привлекательность ее в том, что несложная организация процесса сопровождается получением горючего газа ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$). Но существенным недостатком является значительная продолжительность процесса, ускорение которого возможно при дополнительном подведении теплоты (мезо- или термофильный процесс). Для организации процесса без расхода дополнительного топлива на обогрев выход биогаза ($Q_{\text{бг}}$) отхода (осадки очистных сооружений) должен составлять не менее:

$$Q_{\text{бг}} = \frac{1,1 \cdot 5,67 \cdot (55 - 16)}{19,7} \approx 14 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

или

$$Q_{\text{бг}} = \frac{1,1 \cdot 5,67 \cdot (33 - 16)}{19,7} \approx 5,4 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

где 1,1 - коэффициент, учитывающий теплотери; 5,67 - теплота (МДж), расходуемая на нагревание 1 м³ осадка острым паром; 19,7 - теплота (МДж) сгорания газа, выделяемого при сбраживании осадков; 33, 55, 16 - температура (°C) мезо-, термофильного режимов сбраживания и исходного осадка.

Таким образом, для термофильного режима термоавтономность обеспечивается при сжигании 14 м³ биогаза, мезофильного - около 6 м³. Однако известно, что, например, выход биогаза в мезофильном режиме составляет 5...6 м³/м³ и 10... 12 м³/м³ в термофильном режиме за 10... 14 суток (60...65 % об. CH_4 в биогазе). Следовательно, при невысоких среднегодовых температурах весь произведенный биогаз будет сжигаться. Кроме того, помимо биогаза, образуется сброженный остаток, содержащий до 50...60 % нестабильного органического вещества, которое будет разлагаться в местах складирования данного отхода, загрязняя атмосферный воздух (H_2S , CH_4 , CO_2 , меркаптаны и другие дурнопахнущие соединения), а в почву и грунтовые воды будет уходить жидкая фракция, содержащая растворенные органические и неорганические соединения. Следовательно, сброженный остаток необходимо подвергать стабилизации: сушке, аэрации, а это - дополнительный расход энергии. Таким образом, за внешней простотой организации технологии переработки отходов (невысокие температуры и давления) скрывается много проблем, особенно для климатических условий Беларуси,

Термодеструкция органических отходов является также известным приемом, основное достоинство которого - высокая оперативность и управляемость процесса. Недостатком, в частности, сжигания является то, что практически более 90 % углерода органики переходит в окружающую среду в составе дымовых газов. Высокие температуры процесса (1000...1500 °C) - это образование значительных количеств (за счет использования для сжигания воздуха) газообразных и небезопасных для человека и окружающей среды соединений и огромных тепловых загрязнений атмосферы. Предотвращение загрязнений возможно при сооружении и эксплуатации сложного технического оборудования по их очистке и рекуперации тепла. А при наличии в отходах хлор- и бромпроизводных углерода (зола), а также кислорода формируются высокотоксичные соединения: ПАУ, диоксины [2].

Низкотемпературный пиролиз (600...700 °C) в современном решении «кипящего слоя» экологически более предпочтителен, так как в восстановленных условиях образуется значительно меньше оксидов азота и серы. Кроме того, углерод органических соединений трансформируется (20...30 %) в газообразные соединения (пирогаз), остальная часть превращается частично в жидкие и плотные продукты пиролиза (смолы, смесь жидких углеводородов, «кокс»). При этом объемы пирогаза, по сравнению с дымовыми газами, незначительны (нет разбавления воздухом, как при сжигании) и, кроме того, он представляет интерес для рекуперации не только как теплоноситель, но и как топливный газ, поскольку около 50 % его объема составляют горючие газы (в том числе углеводороды).

Недостатком известных технических решений низкотемпературного пиролиза отходов является то, что термическое разложение углероденасыщенных соединений сопровождается образованием низкокалорийного пирогаза за счет содержания высокой доли в его составе оксидов углерода.

Перечислить все представляющие интерес технологии переработки органических отходов не представляется возможным в рамках одной статьи. Некоторые из современных технических решений представлены в таблице, где приведены основные характеристики разработанной авторами технологии комплексной переработки органосодержащих отходов (КПОО) в топливный газ [3].

Сравнительный технико-экономический анализ методов переработки органосодержащих отходов

1	2	3	4	5	6	
Технология и техника переработки, температурный режим, °С	Продукты переработки (глубина переработки, %)	Прибыль от переработки	Экологические характеристики	Особенности и преимущества	Недостатки	
1. Биогазовые установки (метантенки). Анаэробное сбраживание. (33...55)	Биогаз: CH ₄ 50...70 %; CO ₂ – 30...50 % (50...60)	Мегоды 1, 2, 4, 5, 6 для Республики Беларусь убыточны, поскольку практически отсутствует плата за захоронения отходов	Захоронение (утилизация) остатков метаногенной переработки проблематично	Относительная простота. Возможность получения биогаза с калорийностью приблизительно 5000 ккал/кг	6	Органическое вещество перерабатывается приблизительно наполовину. Некоторые виды органосодержащих отходов вообще не перерабатываются. Остатки могут содержать соли тяжелых металлов. В условиях климата Беларуси 3/4 года установки энергозатратны и неэконаемы
2. Мусоросжигающие установки (печи сжигания, инсинераторы). Термоокислительная деструкция. (более 1000)	Водяной пар от рекуперации тепла дымовых газов. Дымовые газы. (100)		Так как сжигание происходит при температуре выше 1000 °С в дымовых газах содержатся токсичные окислы азота, CO, диоксины, соединения металлов, а также высокие концентрации CO ₂ , имеющие ограничения на выбросы по Киотскому протоколу	Высокая оперативность в переработке органосодержащих отходов. Возможность частичной рекуперации тепла сжигания		Установки экологически опасны, так как сжигание ряда отходов при высокой температуре (1100...1200 °С) приводит к образованию газообразных диоксинов, окислов азота и других соединений, значительного количества золы либо шлаков. Большая часть тепла сжигания отходов не утилизируется. Затраты дополнительного топлива на сжигание
3. Установка высокотемпературной печи с бротируемой ванной шлакового расплава ROMELT. Окислительно-восстановительный процесс для непрерывной высокотемпературной переработки. (1350...1500)	Металлический сплав восстановленных металлов (Fe, V, Cr, Ni, Cu, Co). Шлак (K + Na + металлы в окисленной форме). Пылегазовая фаза (K + Na + металлы в восстановленной форме). (100) Электроэнергия (паровая турбина)	Определяется долей и качественным составом металлов в составе металлургического шлама	Значительное количество дымовых газов (CO ₂ до 20,5 %)	Высокая оперативность в переработке. Полная переработка органического вещества. Быстрый нагрев до 1400 °С в бротируемом расплаве (смесь CO ₂ , воздух, O ₂), выдержка в нем не менее 2 с предельно уменьшает концентрацию высокотоксичных веществ. Глубокая рекуперация тепла за счет системы теплообменного оборудования «газ – натрий», «газ – вода» (1600 → 40 °С)		Необходимость ввода в печь флюса – материала, содержащего CaO (известь, известняк, шлаки сталелитейного производства). Для стабилизации температуры рекомендуется подавать дополнительное топливо (природный газ) и кислород. Сложность оборудования: использование нагретых носов теплообменного контура, установок производства кислорода, паровой турбины
4. Пиролизные установки (печи газификационные, печи пиролизные). Термодеструкция в анаэробных условиях. (600...700)	Пирогаз, жидкие продукты, смола пиролиза. (90...95)		Проблема переработки остатков пиролиза (5...10 %) и «кокса»	Относительная простота и оперативность. Глубокая переработка органического вещества в полезные продукты (топливный газ, жидкое топливо). Невысокая калорийность пирогаза – приблизительно 5000...7000 ккал/кг		Периодическая работа установки. Сложность загрузки и выгрузки. Чистка реактора. Затраты дополнительного топлива на термодеструкцию (при высокой влажности или низкой калорийности отходов)

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
5. Установка высокотемпературного пиролиза (частичного). Газифицирующий реактор шахтного типа. (1000...1100 до 1649)	Топочный газ (синтез газа). Шлак, зола. (около 90)		Нет вредных газовых выбросов. Проблемы переработки золы, шлака	Глубокая переработка органического вещества в газообразное топливо. Оперативность процесса	Часть органического вещества сжигается, не превращаясь в топливный газ (синтез газа). Зола после газификации выводится на захоронение. Низкая калорийность синтез газа (менее 4000 ккал/м ³)
6. Переработка отходов в плазменном реакторе (высокотемпературная термодеструкция). 4000...5000	Сажа, водород, азот, неорганические сплавы. (100)		Высокие	Полная переработка органического вещества отходов независимо от их происхождения	Трудности рекуперации тепла; проблемы заделки газов и удаления продуктов из реактора. Высокая энергоёмкость. Косвенные экологические проблемы от сжигания топлива. Невозможность получения нефтехимического сырья. Значительная часть тепла не утилизируется
7. Подземное захоронение отходов (практически не управляемое). (10... 23)	Газ со свалки отходов (биогаз): CH ₄ – 40...60%; CO ₂ – 60...40%. (30...50)	5...10 дол. за тонну в расчете на сухое вещество отходов	Отторжение больших объемов и территории вследствие низкой скорости переработки. Неприятный запах для жителей близлежащих селений. Утечка CO ₂ и CH ₄ в атмосферный воздух способствует тепличному эффекту	Относительная простота, возможность получения газообразного топлива до 30...50 % от потенциала органического вещества отходов	Калорийность биогаза невелика (менее 5000 ккал/кг). Органика отходов перерабатывается не полностью. Загрязнение грунтовых вод
8. Комплексная переработка органических отходов. Комбинированные сооружения. Метантенк-теплица; (33...55). Реактор термодеструкции (пиролиз – сжигание); (550...600). Управляемый метаногенез – фотобактериальный. Термодеструкция в аэробных и анаэробных условиях	Биогаз: CH ₄ – 60...70%; CO ₂ – 40...30%. Пирогаз. Продукция теплиц. Горячая вода. Неорганический остаток (наполнитель бетонных смесей, теплоизоляционных плит и др.). (100)	50...70 дол. за тонну в расчете на сухое вещество отходов	Минимальные газовые выбросы стадии окислительной термодеструкции практически не содержат вредных окислов (в 20 раз меньше, чем при сжигании)	<ul style="list-style-type: none"> - ¼ потенциала органического вещества отходов идет на выработку высококалорийного газа (> 7000 ккал/кг) и только ¼ – на обеспечение жизнедеятельности КПОО. - Органика перерабатывается полностью. - Газы стадии пиролиза – нефтехимическое сырье либо высококалорийное топливо. - Установка по переработке отходов для мегаполиса 200...300 тыс. жителей окупается за 2...4 года. - КПОО – оригинальная отечественная технология. - Внедрение и распространение КПОО по территории Беларуси в течение 10...15 лет частично удовлетворит потребности республики в нефтехимическом сырье, на 25...30 % потребности в топливе, а также решит важную экологическую проблему. Комплекс экологически практически безопасен 	Относительная сложность, многостадийность

Основные принципы организации комплекса - максимальная рекуперация энергетического потенциала органических отходов в практичную для хранения и своевременного использования форму {топливный калорийный газ, горячую воду, продукцию теплиц закрытого грунта}; организация функционирования всей системы сооружений по максимально замкнутым контурам по плотной, жидкой и газовой фазам. Комплекс состоит из следующих стадий переработки и соответствующего оборудования: подготовка отходов (смешение, обезвоживание); анаэробное сбраживание и последующая термохимическая деструкция анаэробносброженной смеси (последовательно пиролиз, сжигание). Основные процессы сбраживания и термодеструкции осуществляются в нестандартном оборудовании: метантенке-теплице и реакторе (пиролиз плюс термоокисление). В этом оборудовании использован общий принцип - совмещение в одном аппарате различных технологических процессов, Метантек-теплица - анаэробное сбраживание с получением биогаза (и одновременно предварительная подготовка отходов перед их низкотемпературным пиролизом) и фотобисинтез высших растений (теплица закрытого грунта и одновременно теплоизоляция метантенка); утилизация растениями теплиц CO_2 со стадии метаногенеза и получение дополнительного товарного продукта биомассы растений на основе утилизации энергопотенциала отходов в виде тепловых потоков со стадии термодеструкции. Реакционный узел термодеструкции - обезвоживание отходов, их пиролиз с получением пирогаза и сжигание непиролизованного органического остатка, которое обеспечивает теплою стадию пиролиза.

Принципиальными отличиями предлагаемой технологии КПОО являются: практически 100 %-ная полезная переработка органического вещества отходов с производством высококалорийного топливного газа (около 9000 ккал/кг); продукция теплиц закрытого грунта, горячей воды, неорганического остатка при термоавтономности реактора термодеструкции и комплекса в целом, а также при минимальном загрязнении окружающей среды.

Комплекс может размещаться в любом регионе, где эксплуатируются очистные сооружения города (поселка) и промышленных производств. Он может служить модулем свалок, мусороперерабатывающих заводов, а также крупных производств, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию и располагающих значительными объемами органических отходов.

Подобный закрытый (по внутренним потокам) и управляемый комплекс по рекуперации органических отходов в энергоносители (газ, горячую воду) должен быть не только как обязательный санитарный узел коммунальной жизни, но и постоянный альтернативный источник тепла, света, витаминной растительной продукции региона.

Комплексная переработка органосодержащих отходов (разработка Республики Беларусь) формируется нестандартным оборудованием и комплектующими, изготавливаемыми отечественными производителями, не зависящими от зарубежных поставщиков.

Сравнительный технико-экономический анализ методов переработки органосодержащих отходов (см. таблицу).

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Р.А., Абаев Г.Н. Комплексная переработка органосодержащих отходов в высококалорийный топливный газ - важное направление решения экологических и энергетических задач Республики Беларусь: Обзорная информация. - Мн.: ОДО «ЛОРАНЖ-2», 2001.-48 с.
2. Koser H. Dioxine in mehreren Schritten zerstbren // Energie (BRD). - 1992. - V. 44, № 5. - S. 41 - 42,44 - 48,50.
3. Патент 2253 РБ, МПК⁶ С 02F 11/04. Способ переработки органосодержащих отходов и установка для его осуществления / Г.Н. Абаев, Р.А. Андреева, С.А. Статкевич - № 960341; Заявл. 03.07.96; Опубл. 30.09.98 //Бюл.№3.- С. 158.