

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



(19) **ВУ** (11) **2253**

(13) **C1**

(51)⁶ **C 02F 11/04,**
C 02F 11/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПАТЕНТНЫЙ
КОМИТЕТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

(54) **СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ
И УСТАНОВКА ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(21) Номер заявки: 960341

(22) 03.07.1996

(46) 30.09.1998

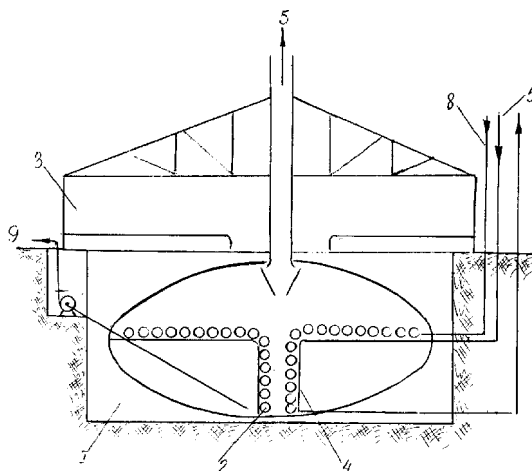
(71) Заявитель: Полоцкий государственный университет (ВУ)

(72) Авторы: Абаев Г.Н., Андреева Р.А., Статкевич С.А. (ВУ)

(73) Патентообладатель: Полоцкий государственный университет (ВУ)

(57)

1. Способ переработки органосодержащих отходов, включающий их концентрирование с последующим анаэробным сбраживанием при подведении тепла и периодическом перемешивании и отведении биогаза и сброженного осадка, обезвоживании последнего и термическую деструкцию при 450 - 550°C в отсутствие кислорода с образованием и отведением конечных газообразных и твердых продуктов переработки, **отличающийся** тем, что концентрирование отходов осуществляют до содержания в них абсолютно сухого вещества не менее 10% мас, анаэробное сбраживание проводят в течение 14 - 20 суток до остаточного содержания органики 40 - 60% от первоначального в абсолютно сухом веществе сброженного осадка при подведении тепла горячей водой, нагреваемой на последующей за анаэробным сбраживанием стадии термической деструкции сброженного осадка газообразными и жидкими продуктами при их охлаждении, и периодическом перемешивании отходов биогазом или его составляющими, а сброженный осадок обезвоживают до влажности 70 - 80% мас и подвергают термической деструкции в "кипящем" слое инертного неорганического носителя в два этапа - первоначально в отсутствие кислорода до остаточного содержания органики в осадке не менее 20-30% мас в абсолютно сухом веществе при 450 - 550°C, а затем в присутствии кислорода при 560 - 660°C до полной деструкции органики, образующийся при этом неорганический остаток используют в качестве инертного неорганического носителя для подведения тепла в зону термической деструкции, а образовавшиеся газообразные продукты при анаэробном сбраживании и термической деструкции сброженного осадка подвергают газоразделению с выделением преимущественно горючей углеводородной фракции и углекислоты.



Фиг. 1

ВУ 2253 С1

2. Установка по переработке органосодержащих отходов, включающая устройство по концентрации отходов, метантенк для анаэробного сбраживания и аппарат термической деструкции сброженных отходов, **отличающаяся** тем, что дополнительно включает блок газоразделения и компремирования газов брожения и газов термической деструкции и теплицу растений закрытого грунта, при этом метантенк высотой 1,5 - 2 м имеет сплюсненно эллипсоидную форму, установлен в котловане с зазором к его стенкам и дну, причем на крыше метантенка, расположенной в зоне верхнего уровня котлована, размещены основание теплицы, газоотводящие трубы метантека и газоразделительный блок, труба для отвода углекислоты или биогаза которого соединена с производственным помещением теплицы и/или рабочим объемом метантенка через коллектор и разводящие вертикальные, открытые снизу трубы, равномерно распределенные по горизонтальному сечению метантенка, при этом метантенк и теплица оборудованы поверхностными теплообменниками, а аппарат термической деструкции состоит из одного полого цилиндрического реактора, разделенного на две зоны, одна из которых является зоной термической деструкции без кислорода, вертикальной перегородкой, имеющей в верхней и нижней части калиброванные переточные отверстия для циркуляции между зонами аппарата теплоносителя, при этом каждая зона снабжена двумя горизонтально расположенными секционированными решетками, причем верхняя решетка зоны термической деструкции без кислорода - провальная, а остальные - непровальные.

(56)

1. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. - М.: Стройиздат, 1991.
2. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод.-Л.: Стройиздат, 1988.-С. 109 - 117 (прототип).

Способ переработки органосодержащих отходов и установка для его осуществления относится к области переработки и полезного использования органики отходов (рекуперация) очистных сооружений промышленных предприятий, коммунальных хозяйств, сельского хозяйства (полеводства, животноводства), пищевой и перерабатывающей промышленности и пр. отраслей народного хозяйства.

Известны способы переработки органосодержащих отходов путем анаэробного сбраживания (метаногенез). Органическое вещество отходов разлагается анаэробными микроорганизмами с образованием, в основном, двух продуктов - биогаза, включающего метан (CH_4) и углекислоту (CO_2), и сброженного остатка, включающего воду, неорганические соединения и остаточную органику. Степень переработки органики отходов в полезные продукты (CH_4 , CO_2) и степень конверсии органики зависит от вида отхода, состава и режима сбраживания. Под режимом сбраживания понимается: температура сбраживаемой массы, продолжительность. При температуре 50-55 $^{\circ}\text{C}$ (тормофильный режим) по сравнению с 30-35 $^{\circ}\text{C}$ продолжительность сбраживания сокращается приблизительно вдвое (при равной глубине конверсии органики отходов) [1].

Известно, что максимальная глубина анаэробного разложения органики отходов очистных сооружений составляет 40-50%. Образующиеся продукты переработки органосодержащих отходов - биогаз и сброженный осадок используют по-разному. Биогаз, в основном, сжигают для обогрева метантенка; в отдельных случаях биогаз используют, как топливный газ - (CH_4) и (CO_2), как сырье для получения пищевой углекислоты. Сброженный осадок (после обезвоживания) используют как удобрение или отдельный компонент удобрительной смеси [2].

Процесс анаэробного сбраживания осуществляют в специальных сооружениях - метантенках различных конструкций [1].

Недостатком приведенного выше технического решения является невысокое извлечение потенциальной энергии из органосодержащих отходов (конверсия органики 40-50%) в виде биогаза. Кроме того, сброженный осадок, содержащий высокий процент остаточного органического вещества и влаги при открытом складировании на иловых площадках под воздействием факторов внешней среды, разлагаясь, начинает выделять в атмосферный воздух, почву (грунтовые воды) вредные для здоровья человека соединения: оксиды серы, азота, аммиак, метан, сероводород и т.д.

Как удобрение, сброженный осадок может быть использован только, если исходные отходы не содержали токсичные соединения и тяжелые металлы. Это бывает крайне редко. Поэтому, как правило, дурно пахнущий сброженный осадок или складировать на иловых площадках, или подвергают обезвоживанию и затем сжигают.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому способу является способ переработки органосодержащих отходов, включающих их концентрирование с последующим анаэробным сбраживанием при подведении тепла, и периодическом перемешивании, и отведении биогаза и сброженного осадка, обезвоживании последнего, и термическую деструкцию при 450-550 $^{\circ}\text{C}$ в отсутствие кислорода с образованием и отведением конечных газообразных и твердых продуктов переработки [2].

BY 2253 C1

Способ реализуется на установке, включающей устройство по концентрированию отходов, метантенк для анаэробного сбраживания и аппарат термической деструкции сброженных отходов (фиг. 3 а).

В качестве устройства по концентрированию отходов используют типовые сооружения [1]. Например, для отходов очистных сооружений, используют первичный и вторичный отстойник, илоуплотнитель. В отдельных случаях - флотаторы, сепараторы, центрифуги.

Метантенк [1] - расположенный выше уровня земли цилиндрический аппарат, высотой 15-20 м и диаметром 10-15 м, нижняя и верхняя части которого выполнены в виде усеченных конусов. В центральной части аппарата расположена пропеллерная мешалка и труба для циркуляции осадка в метантенке. Образующийся биогаз выводится из центрального штуцера верхней, конусной части метантенка. Обогрев метантенка осуществляется острым паром, подаваемым в нижнюю часть метантенка. Для обслуживания метантенка рядом с ним располагается этажерка, на которой размещены: пульт управления, вентиляционная, узел управления загрузкой и выгрузкой осадка и пр.

Аппарат термической деструкции состоит из двух отдельных цилиндрических полых векторов - реактора коксования и теплообменника-регенератора. Процесс термической деструкции, например, каталитический крекинг отходов, переработки нефти и последующий выжиг кокса осуществляются в двух отдельных аппаратах с псевдоожиженным слоем и связанных между собой транспортными линиями для циркуляции катализатора.

К недостаткам способа и установки относятся следующие.

1. Невысокая производительность процесса, обусловленная тем, что по известному способу, анаэробному сбраживанию подвергают отходы с высокой влажностью (более 90 %). Это значит, что весовой выход биогаза (целевого продукта стадии анаэробного сбраживания) на разложенное беззольное вещество (органика) будет зависеть от его абсолютного содержания в отходах. Чем больше влажность отхода, тем меньше выход целевого продукта - биогаза.

Кроме того, образующийся, помимо биогаза, сброженный остаток в процессе сбраживания еще более обводняется, а для его дальнейшей переработки необходимо затрачивать дополнительные материальные и энергетические ресурсы, чтобы удалить избыточную влагу (фильтрация, отстаивание, сепарирование и пр.).

2. Невысокая производительность известного способа и установки связана также с высокой продолжительностью анаэробного брожения - 20-30 суток при сравнительно коротких периодах обезвоживания и последующей термической деструкции (второго этапа переработки отходов) - часы. Несоизмеримость времени переработки на указанных двух этапах обуславливает необходимость организации переработки, по известному способу, в различных аппаратах (метантенк, фильтр-пресс, печь сушки и печь пиролиза) и независимо во времени. При этом сброженный осадок (более обводненный, чем исходные отходы до анаэробного сбраживания) должен быть подвергнут перед термической деструкцией глубокому обезвоживанию (до 20-60 % масс остаточной влаги), что требует значительных энергозатрат.

3. Невысокая производительность установки по целевому продукту (биогаз) обусловлена тем, что в осенне-зимний период, а в отдельных случаях и в летний период, возникает необходимость сжигать образующийся в метантенках биогаз для поддержания положительной температуры (+30, +55⁰С) в сооружениях анаэробного сбраживания - метантенках. Использование биогаза как топлива для обогрева неэффективно, т.к., во-первых, его калорийность 22350 кДж/м³, а чистого СН₄ приблизительно 41855 кДж/м³, и, кроме того, исключается возможность полезного и высокоэффективного использования второй составляющей биогаза - СО₂, которая может быть использована как углеродный питательный субстрат в процессах фотобиосинтеза, или после сжижения как "жидкая углекислота" в пищевой, косметической и пр. промышленности как вторичный сырьевой материал [2].

4. К недостатку известного способа относится также низкий выход газообразных продуктов на стадии термической деструкции сброженного и обезвоженного затем осадка (около 15 % мас абс. сухого вещества) и высокий выход (до 50-55 % мас) кокса, включающего неорганический остаток и "тяжелую" органику (не разлагаемую при данной температуре). Наиболее ценным продуктом стадии термической деструкции являются газообразные соединения, включающие преимущественно Н₂ и углеводороды. Доля горючих (Н₂ и углеводороды) определяет калорийность газов как топлива, а также как вторичного сырья для нефтехимической промышленности. Другие продукты термической деструкции сброженного осадка - полукокс и жидкие продукты требуют дальнейшей переработки (термическое разложение), либо сахарофенилу, поскольку в них присутствуют тяжелые органические соединения, небезопасные для здоровья человека.

5. Недостатком известного способа и установки является также низкая эффективность использования потенциальной энергии и тепла газообразных продуктов переработки - биогаза (упоминалось выше) и газов термической деструкции сброженных органосодержащих отходов.

6. Установка, с помощью которой реализуется способ, также не обеспечивает высокую производительность и энергетическую эффективность процесса по следующим причинам:

1. Потери тепла в метантенках известных конструкций недопустимо велики, что связано с их формой (цилиндрический аппарат), размерами ($H/D \approx 1-1,5$ $D \geq 10$ м) и приводит к необходимости значительных энер-

BY 2253 C1

гетических затрат для поддержания жизнедеятельности, особенно в зимний период. Известно, что в зимние месяцы для этой цели приходится расходовать весь образующийся биогаз.

2. Эффективное перемешивание в известных метантенках (пастообразная масса, $H_{\text{ап}} \geq 10$ м) практически невозможно (время перемешивания $\sim H_{\text{ап}}^2$), что приводит к снижению процесса метаногенеза.

3. Разбавление сбраживаемого осадка “острым” паром, вводимым для подогрева.

4. Существующие конструкции аппаратов термической деструкции, в том числе печей пиролиза (вращающиеся печи, реторты) так же требуют значительных энергозатрат: как на сам процесс термической деструкции (пиролиза), а также на испарение влаги отходов. Расчеты показывают, что в некоторых случаях ($C_{\text{орг}} \leq 5\%$, влажность отходов $\sim 80\%$) тепла от сжигания пирогаза, образующегося при пиролизе отходов, может не хватить для осуществления процесса пиролиза (т.е. процесс будет не автотермичен и потребуется вводить в аппарат дополнительно топливо). С другой стороны, тепло образующегося водяного пара в существующих конструкциях аппаратов пиролиза в системе переработки отходов эффективно не используется, а охлаждение пирогаза и конденсация паров воды из пирогаза также требуют значительных энергозатрат.

5. Аппараты термической деструкции (например, каталитический крекинг отходов переработки нефти) в “кипящем” слое имеют сложное и громоздкое аппаратное оформление (два отдельных аппарата, транспортные линии для циркуляции); кроме того, препятствием в их эксплуатации является требование в однородности перемещаемых в “кипящем” слое частиц. Значительный разброс частиц (по размерам) приводит к сбою работ транспортных линий из-за их “завала”.

6. Отсутствие блока газоразделения не позволяет получать на основе газообразных продуктов высококалорийный топливный газ и эффективно использовать углекислоту (например, в процессах фотобиосинтеза, метаногенеза).

Задачей предлагаемого способа и установки является устранение вышеперечисленных недостатков. А именно, повышение производительности процесса, мощности и энергетической эффективности установки достигается за счет: увеличения выхода калорийных газообразных продуктов на единицу разложенного органического вещества перерабатываемых отходов; сокращения продолжительности и увеличение автономности процесса переработки отходов; сокращения непроизводительных энергозатрат, теплопотерь; сокращения ущерба, наносимого окружающей среде, при переработке отходов; увеличения спектра, количества и качества целевых продуктов переработки.

Поставленная задача решается тем, что в способе переработки органосодержащих отходов, включающем их концентрирование с последующим анаэробным сбраживанием при подведении тепла и периодическом перемешивании и отведении биогаза и сброженного осадка, обезвоживании последнего и термическую деструкцию при $450-550^{\circ}\text{C}$ в отсутствие кислорода, с образованием и отведением конечных газообразных и твердых продуктов переработки, согласно изобретению, концентрирование отходов осуществляют до содержания в них абсолютно сухого вещества не менее 10% масс, анаэробное сбраживание проводят в течение $14-20$ суток до остаточного содержания органики $40-60\%$ от первоначального в абсолютно сухом веществе сброженного осадка при подведении тепла горячей водой, нагреваемой на последующей за анаэробным сбраживанием стадии термической деструкции сброженного осадка газообразными и жидкими продуктами при их охлаждении, и периодическом перемешивании отходов биогазом или его составляющими, а сброженный осадок обезвоживают до влажности $70-80\%$ масс. и подвергают термической деструкции в “кипящем” слое инертного неорганического носителя в два этапа - первоначально в отсутствие кислорода до остаточного содержания органики в осадке не менее $20-30\%$ масс., в абсолютно сухом веществе при $450-550^{\circ}\text{C}$, а затем в присутствии кислорода при $560-660^{\circ}\text{C}$ до полной деструкции органики, образующийся при этом неорганический остаток используют в качестве инертного неорганического носителя для подведения тепла в зону термической деструкции, а образовавшиеся газообразные продукты при анаэробном сбраживании и термической деструкции сброженного осадка подвергают газоразделению с выделением преимущественно горячей углеводородной фракции и углекислоты.

Поставленная задача решается также тем, что установка по переработке органосодержащих отходов, включающая устройство по концентрированию отходов, метантенк для анаэробного сбраживания и аппарат термической деструкции сброженных отходов, согласно изобретению, дополнительно включает блок газоразделения и компремирования газов брожения и газов термической деструкции и теплицу (фиг.3 б, 3.5) растений закрытого грунта, при этом метантенк высотой $1,5-2$ м имеет сплюсненно-эллипсоидную форму, установлен в котловане с зазором к его стенкам и дну, причем на крыше метантенка, расположенной в зоне верхнего уровня котлована, размещены основание теплицы, газоотводящие трубы метантенка и газораспределительный блок, труба для отвода углекислоты или биогаза которого соединена с производственным помещением теплицы и/или рабочим объемом метантенка через коллектор и разводящие вертикальные, открытые снизу трубы, равномерно распределенные по горизонтальному сечению метантенка, при этом метантенк и теплица оборудованы поверхностными теплообменниками, а аппарат термической деструкции состоит из одного полого цилиндрического реактора, разделенного на две зоны вертикальной перегородкой, имеющей в верхней и нижней части калиброванные переточные отверстия для циркуляции между зонами аппарата теплоносителя, при этом каждая зона снабжена двумя горизонтально рас-

BY 2253 C1

положенными секционирующими решетками, причем верхняя решетка зоны термической деструкции без кислорода - непровальная, а остальные - провальные.

На фиг.3а представлена структурная схема установки по переработке органосодержащих отходов известным способом (прототип). Она включает устройства по концентрированию отходов (1) устройство по анаэробному сбраживанию отходов (метантенк) (12) и аппарат термической деструкции (3). Конечные продукты переработки - биогаз (5), кокс (полукокс) (8), дымовые газы (пирогаз) (6) и деготь (7).

На фиг. 3б, представлена структурная схема установки по переработке органосодержащих отходов по предлагаемому техническому решению. Она включает устройства по концентрированию (обезвоживанию) отходов (1); метантенк-теплица (2-5); аппарат термической деструкции (4а-4б); блок газоразделения (3). Конечные продукты переработки - высококалорийный топливный газ (14); углекислота (11); продукция теплиц (закрытого грунта) (7); чистая неорганика (песок) (9), горячая вода (12).

На фиг.1 представлено схематически вертикальное сечение метантенка-теплицы; метантенк заглублен в котлован с зазором к его стенкам и дну, т.е. имеет воздушную теплоизоляцию (1); поверхностные теплообменники в рабочем объеме метантенка (2); теплица и газовое хозяйство установки (3); устройство для подведения в сбраживаемый осадок газа (5) для перемешивания (4); температурный режим поддерживается при подведении горячей воды (8).

На фиг. 2 представлено схематически вертикальное сечение аппарата (реактора) термической деструкции. Он включает две зоны (а, б): а- зона сушки и пиролиза отходов непиролизованной органики (сжигания). Обозначения: отходы (9), дозирующее устройство (11), циклон (2), решетка не провальная (4), решетка провальная (5), десорбционные стаканы с калиброванными отверстиями (3), стояк вывода неорганики (песка) (7), зона сушки (12), газы выжигания кокса (дымгазы) (13), пирогаз (10), “кипящий” слой инертного носителя (неорганический остаток отходов) (1), циркуляция теплоносителя из зоны а в зону б (6), вода для охлаждения газов (8).

Метантенк (фиг.1) выполнен из железобетона, заглублен в котлован на глубину 2-3 м, имеет воздушную теплоизоляцию (1) (прослойка, окружающая метантенк) и поверхностные теплообменники в рабочем объеме (2). Форма-сплюсненно эллипсоидная. На крыше - теплица и газовое хозяйство установки (3). Наличие теплицы над метантенком, его заглубление в котлован, наличие воздушной теплоизоляции позволяет значительно снизить теплотери в окружающую среду. Вдоль метантенка по всей площади расположены открытые на конце (книзу) вертикальные трубы, объединенные единым коллектором (4). По этим трубам периодически подают в рабочий объем метантенка со сброженной смесью газ (биогаз или его компоненты) (5).

Аппарат (реактор) термической деструкции (фиг.2) выполнен в виде одного полого цилиндрического аппарата, разделенного вертикальной перегородкой на две зоны (а, б): а- зона сушки и пиролиза отходов; б - зона термоокислительной деструкции остатков непиролизованной органики (сжигания).

Процессы в реакторе осуществляются в “кипящем” слое циркулирующего теплоносителя (неорганического остатка отходов) (1). Верхняя часть аппарата - (1/2-1/3) от всего объема - является отстойными зонами, в которых расположены встроенные циклоны (2).

Верхняя и нижняя части реактора оборудованы десорбционными стаканами с калиброванными отверстиями в вертикальной разделительной перегородке (3). Циркуляция теплоносителя между зонами пиролиза и термоокислительной деструкции осуществляется за счет разницы концентраций в зонах, что, в свою очередь, обеспечивается за счет различия гидродинамического режима в зонах а и б

$$U_{\text{пиролиза}} (\text{м/сек}) < U_{\text{выжигания кокса}} (\text{м/сек})$$

В свою очередь, зоны пиролиза и выжигания кокса разделены по высоте “кипящего” слоя секционирующими решетками, что позволяет создать градиент концентрации по органике в отдельных секциях. Наибольшая концентрация органики в твердой фазе в зоне ввода отходов, наименьшая (около 0) в зоне вывода избытка неорганической части отходов.

Верхняя секционирующая решетка в зоне термической деструкции без кислорода расположена над верхним переточным отверстием и является непровальной (4), остальные секционирующие решетки в циркуляционном контуре - провальные (5). Верхняя секция зоны термической деструкции без кислорода (12) служит для испарения влаги поступающих на переработку отходов, их дробления и гранулирования. Высушенные, измельченные органосодержащие отходы поступают в нижележащие секции. Наличие зоны сушки отходов позволяет снизить температуру уходящего контактного газа пиролиза до 150-200 °С, сконденсировать и вернуть на пиролиз тяжелую часть испарившейся органики ($T_{\text{кип}} \geq 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Тепло, от сжигания остатков непиролизованной органики, воспринимается теплоносителем и передается в зону сушки и пиролиза отходов за счет циркуляции теплоносителя (6).

Из последней, по ходу движения циркулирующего теплоносителя секции, избыток теплоносителя, практически не содержащий органики, по уровню, через стояк (7) выводится из системы и может быть использован, по крайней мере, в строительстве.

Поскольку анаэробное сбраживание по сравнению с термической деструкцией является длительным процессом (30-40 суток и 1,5-2 часа, соответственно) очень важно осуществить повышение производительности процесса на стадии анаэробного сбраживания. Это достигается тем, что на стадии сбраживания обеспечивается высокая концентра-

BY 2253 C1

ция в отходах сухого вещества (не менее 10%) и, следовательно, органического вещества - основного источника целевых продуктов переработки (калорийного газа, CO_2). Кроме того, путем сокращения периода анаэробного сбраживания с 30-40 суток до 14-20 суток, снижают непроизводительные затраты на поддержание в метантенке высокой положительной температуры, энергозатраты на перемещение сбраживаемой смеси. Остаточное содержание трудносбраживаемого органического вещества в отходах (40-60 % асв) перерабатывают путем термической деструкции на второй стадии. При этом, эта остаточная органика первоначально используется как сырье для получения калорийного (по углеводородам) пирогаза на стадии термической деструкции без доступа воздуха (кислорода) при 450-550°C (пиролиза), а затем (20-30% асв) как топливо, при сжигании которого (560-660°C) в присутствии кислорода, разогревается неорганический остаток отходов, состоящий, преимущественно, из окисленных соединений кремния, кальция, железа, который затем используют как инертный теплоноситель.

После выжигания "тяжелой" органики часть инертного теплоносителя используется для термической деструкции сброженных отходов (на стадии пиролиза), а избыток выводится из процесса в виде экологически чистого неорганического остатка отходов в отличие от "кокса" - смеси неорганики и "тяжелой" органики - образующегося в процессе сжигания отходов или их пиролиза.

При поступлении сброженного отхода в аппарат термической деструкции (9) (зону пиролиза при отсутствии O_2) с влажностью 70-80 % масс. идет, с одной стороны, сушка отходов в токе восходящих газов, а с другой - охлаждение жидких продуктов пиролиза органики отходов, находящихся в парообразном состоянии, и их конденсация и возврат в зону пиролиза. Это увеличивает полезный выход газообразных продуктов на единицу перерабатываемых отходов, т.е. увеличивается производительность процесса по целевым продуктам - калорийному горючему газу.

Обогрев метантенка - теплицы (фиг.1; 8), а также вспомогательных производственных и бытовых помещений осуществляют горячей водой и паром, который образуется при охлаждении газов стадии термической деструкции (фиг.2; 8). Кроме того, минимум теплопотерь обеспечивается на стадии сбраживания, поскольку геометрические формы метантенка таковы, что позволяют при максимальной рабочей емкости иметь минимальную поверхность теплообмена с окружающей средой. Термостабильность поддерживается заглублением метантенка в котлован, верхнее перекрытие которого служит основанием помещения, где располагают блок газоразделения газов брожения и газов термической деструкции и теплицу с с/х растениями (фиг. 1; 3). Таким образом, исключается необходимость в частичном сжигании топливного газа (пирогаза, фиг.2,10; биогаза, фиг.1,5)-целевого продукта, для поддержания температурного режима в метантенке - теплице закрытого грунта (фиг.1; 3) и др. помещениях, что также увеличивает производительность процесса и энергетическую эффективность устройства по переработке органосодержащих отходов.

Увеличение спектра (набора) целевых продуктов, улучшение их качества достигается использованием в устройстве блока газоразделения. Биогаз, преимущественно, состоит из метана (более 80% об) и углекислоты (менее 20% об), а пирогаз (стадия термической деструкции без кислорода или воздуха) - преимущественно из углеводородов (метан, этан, этилен, пропан, пропилен - около 50-60 % об), водорода (около 20-30 % об) и CO_2 (около 2-3 % об), и незначительного количества др. газов. Разделение указанных газов на CO_2 и горючую водородно-углеводородную часть позволяет повысить калорийность целевого продукта (топливного газа) и добавочно получить новый товарный продукт - CO_2 . Углекислый газ, частично, по предлагаемому способу, используют для углеродного внекорневого питания растений закрытого грунта в теплице, что, как известно, повышает урожайность на 20-25 %.

Избыток CO_2 можно дополнительно компримировать, затаривая баллоны, и реализовать, как дополнительный товарный продукт.

Снижение энергозатрат по предлагаемому способу достигается также за счет устранения в известных технических решениях механического перемешивания в метантенках сбраживаемых отходов (или эжекции и перемешивания паром) пневматическим перемешиванием с помощью биогаза или его составляющих (фиг. 1; 5).

Сокращение продолжительности и увеличение автономности и стабильности процесса переработки отходов по предлагаемому способу достигается:

- 1) сокращением стадии анаэробного брожения (с 30-40 суток до 14-20 суток), о чем говорилось выше;
- 2) совмещением процессов - сушки отходов, пиролиза и выжигания тяжелой органики в одном устройстве - аппарате термической деструкции. Это максимально сокращает непроизводительный расход времени и потери тепла при транспорте перерабатываемых отходов на отдельных стадиях процесса переработки. Передвижение отходов в аппарате осуществляется на циркулирующем, через переточные отверстия в перегородке, инертном неорганическом остатке отходов (фиг. 2; 7), который после дожига "тяжелой" органики на стадии термодеструкции в присутствии воздуха (O_2) разогревается и поступает на стадию пиролиза (без воздуха) уже как инертный теплоноситель. Пиролиз и дожиг органики отходов в аппарате осуществляют в "кипящем" слое инертного носителя (неорганического остатка отходов), а его циркуляция между указанными зонами внутри аппарата (фиг. 2; б) обеспечивается разницей концентраций и соответствующим в отверстиях для циркуляции между зонами.

ВУ 2253 С1

Примеры выполнения способа.

1. Известное техническое решение [2].

Отходы городских очистных сооружений (фиг.3а;4) (сырой осадок и избыточная биомасса активно-го ила) с влажностью более 99 % мас. концентрируют, уплотняют в первичных, вторичных отстойниках и илоуплотнителях (1) и с влажностью 95 % загружают в типовой метантенк (2), где осуществляют анаэробное сбраживание, например, в термофильном режиме (53-55⁰С). Для обеспечения этой высокой температуры используют пар, горячую воду, получаемые различным путем при использовании дополнительных топлив, либо сжигаемые части биогаза, получаемого при сбраживании отходов. Сбраживание (метаногенез) проводят при периодическом перемешивании смеси отходов, прокачкой отходов внутри аппарата, либо эжектировании отходов водяным паром. Продолжительность сбраживания - 30 суток. Предел распада органики в отходах (беззольное вещество) около 50 % (СНиП 2.04.03-85). В процессе брожения отходов образуется один из целевых продуктов - биогаз (5), который непрерывно отводится из метантенка и собирается в газгольдерах. Биогаз состоит из метана (СН₄) на 70% об и 30% углекислоты (СО₂) ориентировочно. Указанное соотношение может немного изменяться из-за вариативности состава исходного сырья - отходов. После завершения разложения органики отходов (около 50 % органического вещества), сброженный осадок (9) откачивают из метантенка и с влажностью 96-98 % мас последовательно обезвоживают или стабилизируют известью и коагулянтом и затем обезвоживают до влажности от 20-30 % мас до 60 % мас. Степень обезвоживания зависит от дальнейших целей использования отходов (складирование и хранение, получение новых товарных продуктов или уничтожение). Для получения товарных продуктов (рекуперации) требуется глубокое обезвоживание. Например, для осуществления термической деструкции (пиролиза) влажность должна быть (по известному способу) не более 20-60%. Достичь такой низкой влажности можно только при использовании механического обезвоживания (центрифугирование, фильтр-прессование) и сушки.

После обезвоживания сухой сброженный осадок подвергается пиролизу (термической деструкции при отсутствии кислорода или воздуха) при температуре 450-550⁰С (3). Процесс идет с образованием следующих продуктов, % от абсолютно сухого вещества: пирогаз (6) - 15; деготь - (7) - 15,3; полукокс (8) - 55,7; вода разложения - 14.

В таблице 1 приведен материальный баланс процесса известного технического решения [2].

BY 2253 C1

Таблица 1

Материальный баланс переработки органосодержащих отходов

Взято		Получено	
Стадия, объект, количество, т		Стадия, объект, количество, т	
I. Концентрирование отходов до анаэробного сбраживания			
1. Сырой осадок + изб.ак.ила 1:1, W - 99% мас	1,0	1. Влажные органосодержащие отходы, W-95% мас	0,2
В том числе:		В том числе:	
- вода	0,99	- вода	0,19
- сухое вещество	0,01	- сухое вещество	0,01
В том числе:		В том числе:	
- органика	0,005	- органика	0,005
- неорганика	0,005	- неорганика	0,005
		2. Отдельная свободная вода	0,8
Итого:	1,0 г		1,0 г
II. Анаэробное сбраживание			
1. Влажные органосодержащие отходы, W-95% мас	0,2	1. Сброженный осадок, W-96,2%	0,1975
В том числе:		В том числе:	
- органика	0,005	- органика	0,0025
- неорганика	0,005	- неорганика	0,0050
- влага	0,19	- влага	0,19
		2. Биогаз	0,0025
Итого:	0,2 г		0,2 г
III. Обезвоживание (уплотнение, сушка)			
1. Сброженный осадок, W-96,2%	0,1975	1. Обезвоженный сброженный осадок, W-30%	0,0107
В том числе:		В том числе:	
- органика	0,0025	- органика	0,0025
- неорганика	0,005	- неорганика	0,005
- влага	0,19	- влага	0,0032
		2. Отдельная свободная вода	0,1868
Итого:	0,1975		0,1975
IV. Термическая деструкция обезвоженного сброженного осадка в отсутствии воздуха (пиролиз)			
1. Обезвоженный сброженный осадок, W-30%	0,0107	1. Газообразные продукты (пирогаз)	0,0011
В том числе:		2. Полукокс (твердые продукты)	0,0053
- органика	0,0025	В том числе:	
- неорганика	0,005	- непиролизуемая органика	0,0003
- влага	0,0032	- неорганика	0,005
		Жидкие продукты:	
		3. Первичный деготь	0,0011
		4. Свободная вода	0,0032
Итого:	0,0107г		0,0107г

Таким образом, из 1 т органосодержащих отходов (W-99%) в процессе переработки по известному способу получено: биогаза - 0,0025; пирогаза - 0,0011; первичного дегтя - 0,0011; полукокса - 0,0053; свободной воды - 0,99.

2. Пример выполнения способа по предлагаемому техническому решению.

Отходы очистных сооружений (фиг.3б; 6) с влажностью более 90% мас (сырой осадок и избыточная биомасса активного ила) концентрируют последовательно отстаиванием в первичных и вторичных отстойниках и в илоуплотнителях, а затем на центрифуге обезвоживают (1). Уплотнением на центрифуге обеспечивают содержание остаточной влаги в отходах не более 90% мас (абс. сухого вещества не менее 10%). Сконцентрированные отходы загружают в метантенк (2), выполненный в форме сплющенного эллипса (фиг. 1), заглубленный горизонтально в котлован, на верхнем перекрытии которого расположена теплица с с/х растениями (5). Анаэробное сбраживание проводят в метантенке, например, при 53-55 °С в течение 14-20 суток до остаточного содержания органики 50% м, абсолютно сухом веществе. Поддержание температурного режима в сбраживаемых отходах обеспечивается теплом (12), рекуперированным на последующей стадии - термической деструкции сброженного осадка при охлаждении жидких и газообразных продуктов (фиг.2; 8). Это тепло обеспечивает также оптимальную положительную температуру в теплице, благодаря которой до

BY 2253 C1

минимума сводятся теплотери от метантенка в окружающую среду. Геометрическая форма метантенка обеспечивает оптимальное отношение емкости сооружения к ее поверхности, что также сводит теплотери метантенка к минимуму. Предлагаемая геометрия метантенка (небольшая глубина при большой емкости) обеспечивает необходимое перемешивание сбраживаемой смеси биогазом (или его составляющим), образующимся при анаэробном процессе. Форма метантенка обеспечивает также отсутствие застойных зон по газовой и жидкой фазе.

Сброженный осадок (8) с влажностью 92 % откачивают из метантенка и обезвоживают до влажности не более 90% при использовании центрифуги или фильтра-пресса (1). Затем осадок подвергают термической деструкции (4) в специальном аппарате (фиг.2), выполненном в форме одного полого цилиндрического реактора, разделенного на две зоны вертикальной перегородкой, имеющей в верхней и нижней части калиброванные переточные отверстия (фиг.2;3). Через указанные отверстия осуществляется циркуляция внутри аппарата теплоносителя, в качестве которого используют гранулированную в “кипящем” слое неорганическую часть отходов (7). Внутри каждой отдельной зоны реактора также имеются поперечные секционирующие провальные решетки (5). Термическую деструкцию осуществляют следующим образом: осадок через дозирующее устройство (11) загружают непрерывно в первую зону (а), где процесс идет в отсутствие кислорода (пиролиз). Противотоком поступающему осадку идут газы пиролиза с температурой 450-550⁰С. При этом осуществляются одновременно процессы сушки поступающего осадка, охлаждение и конденсация паров и газов пиролиза, которые включают находящиеся в парообразном состоянии жидкие продукты пиролиза. Сухой осадок далее, по перетоку, проходит, дробясь, через первую неповальную металлическую решетку (4) и попадает в “кипящий” слой инертного неорганического носителя (1) (неорганический остаток отходов), разогретого предварительно до 560-660⁰С в другой зоне аппарата (б) - термической деструкции органического вещества отходов в присутствии кислорода (воздуха). В процессе контакта сухого осадка с раскаленным теплоносителем идет процесс разложения (пиролиза) органики отходов с образованием трех продуктов: газов (Н₂, СО+СО₂, СН₄ и др., С₂-С₅ , жидких соединений (типа первичного дегтя) и полукокса, включающего неорганический остаток и “тяжелую” органику, непиролизуемую при данной температуре. Как уже указывалось ранее, газообразные (включая пары жидких продуктов) продукты далее охлаждаются, осушаются и направляются в блок газоразделения (фиг.3б;3), где отделяют негорючую часть (СО + СО₂) (11), которая составляет не более 5-10 % об. Жидкие продукты в составе пирогазов после охлаждения и конденсации в зоне сушки аппарата (фиг.2,12) вновь поступают (рециркулируют) в “кипящий” слой теплоносителя в зоне пиролиза (а). Благодаря такой циркуляции жидких продуктов, достигается их деструкция и частичное превращение в газообразные продукты и полукокк. Полукокк из зоны пиролиза через нижнее переточное отверстие в вертикальной перегородке реактора (3) поступает в зону термической деструкции в присутствии кислорода (воздуха) (б). В данной зоне за счет горения в “кипящем” слое остаточной органики в составе полукокса при температуре 560-660⁰ С идет ее окончательная деструкция с образованием дымгазов (газы выжиги) (13) и чистого неорганического остатка, избыток которого периодически выводят из аппарата (7). Оставшаяся чистая неорганика отходов, разогретая до 560-660⁰ С , далее вновь через верхнее переточное отверстие в перегородке реактора (3) поступает в зону пиролиза (а) в качестве уже теплоносителя, на котором идет первичное разложение органики отходов. Циркуляция неорганики и полукокса обеспечивается поддержанием разницы в давлении в верхней и нижней части “кипящего” слоя обеих зон аппарата.

Тепло дымовых газов выжиги также рекуперируется и используется для обогрева метантенка-теплицы (фиг.3б; 12). Биогаз (13) и пирогаз (10) после выделения и отделения из них СО₂ (11) представляет собой калорийный топливный газ (14), альтернативный бытовому газу. Отделенная углекислота после осушения, очистки от примесей направляется в производственное помещение с/х теплицы, для улучшения углеродного питания растений (7). Избыток компримируют в баллоны.

Процесс термической деструкции идет с образованием следующих продуктов, % от абсолютного сухого вещества: пирогаз - 27, газы выжиги (в пересчете на органику) - 7, чистая неорганика - 9 и вода разложения - 65.

В таблице 2 приведен материальный баланс процесса предлагаемого технического решения.

BY 2253 C1

Таблица 2

Материальный баланс переработки органосодержащих отходов

Взято		Получено	
Стадия, объект, количество, т		Стадия, объект, количество, т	
I. Концентрирование отходов до анаэробного сбраживания			
1. Сырой осадок + изб.б.акт.ила 1:1, W=99% мас	1,0	1. Влажные органосодержащие отходы, W=90% мас	1,0
В том числе:		В том числе:	
- вода	0,99	- вода	0,09
- сухое вещество	0,01	- сухое вещество	0,01
В том числе:		В том числе:	
- органика	0,005	- органика	0,005
- неорганика	0,005	- неорганика	0,005
		2. Свободная вода	0,9
Итого:	1,0		1,0
II. Анаэробное сбраживание			
1. Влажные органосодержащие отходы, W=90% мас	0,1	1. Сброженный осадок, W=92,3%	0,0975
В том числе:		В том числе:	
- вода	0,09	- вода	0,09
- сухое вещество	0,01	- сухое вещество	0,0075
В том числе:		В том числе:	
- органика	0,005	- органика	0,0025
- неорганика	0,005	- неорганика	0,005
		2. Биогаз	0,0025
Итого:	0,1		0,1
III. Обезвоживание (уплотнение)			
1. Сброженный осадок, W=92,3%	0,0975	1. Обезвоженный (уплотненный) сброженный осадок, W=90%	0,0375
В том числе:		В том числе:	
- вода	0,09	- вода	0,03
- органика	0,0025	- органика	0,0025
- неорганика	0,005	- неорганика	0,005
		2. Свободная вода	0,06
Итого:	0,0975		0,0975
IV. Термическая деструкция (без кислорода), пиролиз			
1. Обезвоженный сброженный осадок, W=80%	0,0375	1. Пирогаз	0,032
В том числе:		В том числе:	
- вода	0,03	- сухой газ	0,002
- органика	0,0025	- влага	0,03
- неорганика	0,005		
		2. Полукокс	0,0055
		В том числе:	
		- органика	0,0005
		- неорганика	0,005
Итого:	0,0375		0,0375
V. Термическая деструкция остаточной органики полукоккса в присутствии кислорода (воздуха), выжиг			
1. Полукокк	0,0055	1. Неорганический остаток	0,005
В том числе:			
- органика	0,0005		
- неорганика	0,005		
2. Воздух (3-х кратный избыток по органике)	0,0015	2. Газы выжига органики полукоккса	0,002
Итого:	0,007		0,007

BY 2253 C1

Таким образом, из 1 т органосодержащих отходов ($W = 99\%$) в процессе переработки по предлагаемому способу получено, т: биогаза - 0,0025; сухого пирогаза - 0,002; неорганического остатка (оксиды кремния, кальция, железа и пр.) - 0,005; газы выжигания (с учетом воздуха) - 0,002; свободной воды - 0,99.

Сопоставление известного и предлагаемого способа и установки, анализ материального баланса процесса переработки органосодержащих отходов известным и предлагаемым способом позволяет сделать следующие выводы:

1. За счет более глубокого обезвоживания отходов на стадии "концентрирование" по предлагаемому способу - 90 % влаги (не менее 10 % абс. сухого вещества) против 95 % влаги (известный способ) удается повысить производительность процесса (на стадии анаэробного брожения) в два раза и получать с 0,1 т отходов 0,0025 т биогаза, которые в известном способе получают с 0,2 т отходов. Т.е. единовременная загрузка в метантенк повышается в два раза, за счет более концентрированного (по сухому веществу) осадка.

2. За счет сокращения продолжительности сбраживания до 14-20 суток (предлагаемый способ) против 30-40 суток (известный способ) с сохранением глубины сбраживания (не менее 50% беззольного вещества) позволяет также в два раза повысить мощность установки по биогазу.

3. Мощность установки и производительность процесса повышается также за счет увеличения выхода калорийного топливного газа со стадии термической деструкции сброженного осадка (пирогаза) (80-90% беззольного вещества) - 27 % от абсолютно сухого вещества (против 15 % по известному способу).

4. Одновременно с увеличением выхода ценного продукта - пирогаза, значительно улучшается качество конечных продуктов и их ассортимент - углеводородного топливного газа, близкого по составу и бытовому газу (против газообразной смеси с CO_2 - биогаза и пирогаза в известном способе), который образуется после газоразделения (отделения $\text{CO} + \text{CO}_2$) пирогаза и биогаза; товарной углекислоты; чистого неорганического остатка; товарной растительной продукции.

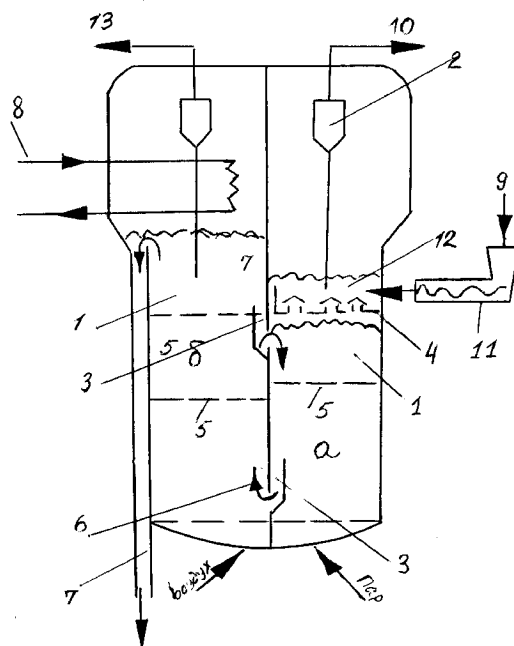
5. Максимально снижаются непроизводительные энергозатраты: за счет рекуперации тепла второй стадии переработки (термообработки) поддерживается термофильный режим первой стадии (метановое брожение), что позволяет полностью использовать биогаз как товарный продукт, не сжигая его для обогрева метантенка (известный способ); снижаются теплопотери от метантенка и газоотводящих труб, которые расположены на крыше метантенка, закрытого сверху помещением теплицы; снижаются теплопотери за счет предлагаемой геометрической формы метантенка (сплющено эллипсоидная) против традиционной цилиндрической формы в известном способе; снижаются теплопотери за счет использования в предлагаемом способе и установке внутренней циркуляции теплоносителя в одном аппарате при пиролизе и выжиге (термодеструкция) сброженного отхода против перемещения отходов по трубопроводам (по известному способу и устройству).

6. Новым товарным продуктом в предлагаемом способе и установке является растительная продукция (цветы, овощи), получаемая в теплице закрытого грунта. Источником углеродного субстрата для растений служит углекислота, выделяемая из биогаза и пирогаза. Источником тепла и света служит использованная и преобразованная тепловая энергия (горячая вода, пар) стадии термодеструкции отходов.

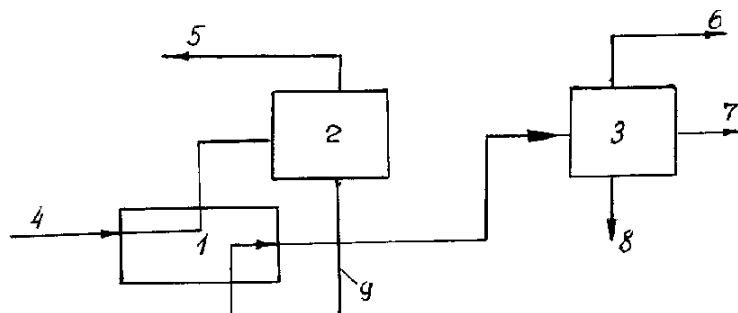
7. Предлагаемое техническое решение позволяет создать автономный модуль по переработке отходов не только с минимальными энергозатратами, но и с минимальным количеством отходов - иловая жидкость (свободная вода отходов), которая содержит растворенную органику и может быть очищена до санитарных норм любым биохимическим путем (аэротенк, биофильтр, пруды-окислители) и отведена затем в поверхностный водоем; чистый неорганический остаток (в виде сухого песка), который может быть использован как сырье для стройматериалов и газы выжигания, содержащие следовые количества окисленных соединений.

8. Преимущество предлагаемого устройства заключается в сокращении времени переработки отходов с 30-40 суток (известный способ) до 14-20 суток, за счет повышения производительности стадии анаэробной переработки.

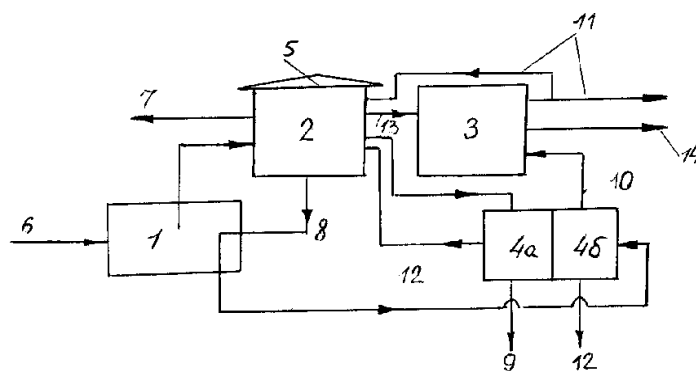
BY 2253 C1



Фиг. 2



Фиг. 3а



Фиг. 3б

Составитель М.Ф. Денисенко
 Редактор В.Н. Позняк
 Корректор Т.Н. Никитина