

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

В. Н. Кобрин, Н. В. Нечипорук, В. В. Вамболь

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», ул. Чкалова, 17, г. Харьков, 61070, Украина. E-mail: violavambol@gmail.com

Исследована актуальная научно-прикладная проблема обеспечения экологической безопасности способом утилизации твердых бытовых и производственных отходов. Проанализированы возможные пути решения проблемы накопления экологически опасных отходов потребления и производства. Предложена система управления экологической безопасностью при утилизации твердых бытовых и производственных отходов. На основе анализа результатов проведенных исследований разработана технология, которая позволяет предотвратить образование высокотоксичных веществ в процессе утилизации отходов потребления и производства и значительно снизить энергопотребление. Показана конструкция плазменной печи для реализации процесса газификации отходов с последующим дожиганием газов в соответствии предложенной технологией. Представленная технология утилизации позволяет получать продукты, пригодные для заправки автотранспорта, хранения в газгольдерах или резервуарах, отопления и получения электроэнергии.

Ключевые слова: опасные отходы, утилизация, плазменная газификация.

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ І ВИРОБНИЧИХ ВІДХОДІВ

В. М. Кобрін, М. В. Нечипорук, В. В. Вамболь

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070, Україна. E-mail: violavambol@gmail.com

Досліджено актуальну науково-прикладну проблему забезпечення екологічної безпеки способом утилізації твердих побутових і виробничих відходів. Проаналізовано можливі шляхи вирішення проблеми накопичення екологічно небезпечних відходів споживання і виробництва. Запропоновано систему управління екологічною безпекою при утилізації твердих побутових і виробничих відходів. На основі аналізу результатів проведених досліджень розроблена технологія, яка дозволяє запобігти утворенню високотоксичних речовин в процесі утилізації відходів споживання і виробництва та значно знизити енергоспоживання. Показана конструкція плазмової печі для реалізації процесу газифікації відходів з подальшим допалюванням газів відповідно запропонованій технології. Представлена технологія утилізації дає змогу отримувати продукти, придатні для заправлення автотранспорту, зберігання в газгольдерах або резервуарах, опалення й отримання електроенергії.

Ключові слова: небезпечні відходи, утилізація, плазмова газифікація.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В процессе жизнедеятельности человека происходит образование различных отходов. Это твердые бытовые и промышленные отходы, опасные для природных процессов и токсичные для всего живого, ресурсоценные и не имеющие в настоящее время технологий по извлечению их ресурсной ценности.

Большую угрозу для окружающей природной среды представляют токсичные отходы. Если не проводить утилизацию этих отходов по мере образования, то их накопление приведет к неблагоприятным экологическим последствиям.

Отходы, образованные в быту, состоят из изделий и материалов, непригодных для дальнейшего применения, таких, как электрические лампочки, аккумуляторы, батарейки, полимерные материалы, лекарства и т. д. В общем объеме отходов значительное место занимают изделия из полимерных материалов – это все виды упаковки, детские игрушки, части мебели, корпуса непригодной бытовой техники и т. д. В связи с экономическими трудностями в стране достаточно часто граждане занимаются самолечением или оказывают медицинские услуги (как людям, так и животным) в частном порядке «на дому». При этом во многих домах накапливаются различные виды лекарственных препаратов, срок годности которых истек, после чего хозяева просроченных лекарственных средств выбрасывают их как мусор. В результате такой деятельности названные выше отходы попадают в контейнеры с

твердыми бытовыми отходами и создают серьезную экологическую угрозу и угрозу заражения работников, участвующих в сепарации отходов на специализированных неавтоматизированных линиях.

Не меньшую опасность для экологии представляют непригодные для использования химические вещества для защиты растений.

Несмотря на снижение численности населения Украины, объем образования ТБО ежегодно увеличивается, и по всем прогнозам такая тенденция сохранится в будущем, что подтверждает экономико-математическая прогнозная модель, разработанная на основе данных Института демографии НАН Украины [1].

Это все приводит к необходимости поиска решений, которые позволили бы предотвратить накопление экологически опасных отходов потребления и производства.

Прямая переработка или сжигание огромных количеств производственных отходов технически весьма проблематична, экологически опасна и экономически неэффективна. Поэтому требуется неотложное решение проблемы утилизации композиционных полимерных материалов, медицинских отходов и непригодных для использования химических веществ для защиты растений и обеспечение наиболее экономически и экологически эффективной переработки с получением полезной продукции.

Как показали исследования других авторов, для утилизации перечисленных отходов нужны затраты,

сопоставимые со стоимостью производства первичной продукции. Снизить эти затраты позволяет реализация системы управления экологической безопасностью, в основу которой положен способ плазменной газификации отходов, что дает возможность не только утилизировать отходы, но и производить синтез-газ, который в дальнейшем можно использовать для получения электроэнергии.

Вопросами плазменной газификации опасных отходов занимаются ученые разных стран: США, Швейцарии, Германии, Японии, и Беларуси, Украины и др.

Вопросы применения плазменных технологий для получения синтез-газа из жидких и других отходов конкретизированы и детализированы в работах М. Н. Бернадинера, И. М. Бернадинера, А. Н. Братцева, С. В. Петрова, Г. С. Маринского, В. Н. Коржика, А. В. Чернеца и др.

Технологиям переработки полимерных отходов посвящены работы А. С. Науменко, вопросам обезвреживания отходов медицинских учреждений в герметичной плазменной печи – работы О. Л. Федорова, А. М. Гонопольского и др.

Проектированием и изготовлением плазменной шахтной печи и мобильной плазменной установки для уничтожения токсичных отходов занимаются А. Л. Моссэ, В. В. Савчин, А. В. Горбунов. Способ переработки медицинских и/или биологических отходов с применением плазменных технологий и устройство для его осуществления описаны в патенте Беларуси авторами В. В. Савчиным, А. Л. Моссэ, А. В. Ложечником.

Целью исследования является разработка системы управления экологической безопасностью при утилизации твердых бытовых и производственных отходов.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Особенностью плазменной обработки является то, что при температуре нагрева выше 1500 °С происходит разложение любых опасных отходов, образующихся при более низких температурах.

Плазменная технология как альтернатива любым способам сжигания заключается в разложении сложных молекул веществ в простые в условиях экстремально высоких температур и при отсутствии свободного кислорода.

При температуре плазменной струи полностью разрушаются любые опасные биологические компоненты отходов, полимерные композиционные материалы (ПКМ) и гарантированно уничтожаются самые токсичные соединения, переплавляются и испаряются самые тугоплавкие неорганические материалы.

Процесс плазменной газификации (пиролиз) обеспечивает экологически чистую переработку сырья (отходов) без образования смол и диоксинов, а также полное извлечение всего углерода из материала отходов, в то время как при всех процессах сжигания остается в твердом остатке до 30 % углерода. Процесс плазменной газификации обеспечивает высочайшую степень очистки обрабатываемых материалов до 99,99 % и выше.

Продуктами плазменной газификации является высококалорийный горючий газ (смесь H_2 и CO) и нейтральный твердый остаток в виде стекловидного шлака. Шлаковый расплав может быть гранулирован и направлен в строительство, полученный ме-

талл также можно использовать вторично. Плазменная газификация значительно сокращает вес получаемого твердого вещества. Отношение массы материала отходов к золе твердого остатка достигает 400 : 1, т. е. степень переработки составляет более 99,7 %. Вместе с тем в плазменной технологии имеются определенные недостатки.

Нагрев материала осуществляется с помощью электродуговых плазмотронов, работающих как на инертных, так и на кислородсодержащих газах. При этом образуются зоны с экстремально высокими температурами в плазменной струе и с более низкими температурами. Поскольку скорости реакций экспоненциально зависят от температуры, ежедневные обрабатываемого материала в разных температурных зонах обуславливает большой разброс в скоростях переработки материалов и, соответственно, результатах процесса.

Плазменная технология предполагает большие затраты электроэнергии в отличие от обычного процесса высокотемпературного пиролиза, где в качестве топлива используется получаемый газ.

При производстве, связанном с непрерывным процессом переработки опасных отходов, возникают трудности с обеспечением длительной работы плазмотронов, имеющих весьма ограниченный реальный ресурс непрерывной работы. Ограничение ресурса обусловлено эрозионным износом электродов, которые требуют периодической замены.

Газ, образующийся в результате высокотемпературного пиролиза, содержит вредные компоненты, которые должны быть очищены перед дальнейшим его использованием. В состав газа входят диоксины, а также HCl , HF , SO_2 и др. Для удаления этих вредных веществ установка должна быть снабжена системой очистки газа.

Простые установки, основанные на процессах сжигания или пиролиза отходов, используют полученный генераторный или синтез-газ для производства тепловой или электрической энергии.

В то же время рабочие циклы производства электроэнергии и суточной и годовой неравномерности ее потребления не совпадают, вследствие чего возникает проблема ее хранения. Такая проблема может быть решена путем создания технологии получения топливных продуктов – жидких и газообразных, которые можно хранить, накапливать и транспортировать. Кроме того, такие установки не решают полностью экологическую проблему, т. к. имеются выбросы парниковых газов, таких, как двуокись углерода.

В настоящее время известны технологии «газ-жидкость», в которых используется процесс Фишера–Тропша для преобразования синтез-газа в жидкое топливо. Конечными продуктами реакции являются парафины, олефины и кислородсодержащие соединения – спирты, альдегиды, кетоны, кислоты и эфиры. При такой технологии предполагается дальнейшая переработка полученного продукта с использованием процессов, применяемых на нефтеперерабатывающих заводах.

Известны также многостадийные процессы «Мобил», TIGAS, заключающиеся в получении из синтез-газа метанола, диметилового эфира (ДМЭ), а также бензина или дизтоплива.

Кроме того, имеется одностадийный процесс CEOSIN, протекающий в одну стадию по последовательно-параллельным реакциям.

Такие установки рассчитаны на большую производительность для обеспечения рентабельности.

Разработаны также технологии, в которых применяют процесс метанирования для преобразования синтез-газа в газообразный метан с использованием экзотермических реакций окиси и двуокиси углерода с водородом. Однако ввиду сложности обеспечения нужного соотношения реагирующих компонентов для полного их преобразования в метан состав полученного топливного газа не соответствует требованиям стандартов и не может быть товарным продуктом.

Недостатков, присущих описанным выше технологиям, лишена технология, приведенная в работе

[2] (рисунок 1). Эта технология дает возможность утилизировать отходы жизнедеятельности и наряду с производством тепловой и электрической энергии получать газообразные или сжиженные топливные продукты, которые можно хранить и транспортировать. Разработанная с использованием данной технологии установка может быть автономна, не имеет ограничений по минимальному количеству обрабатываемого сырья и может работать как в непрерывном, так и периодическом режимах. Продукты, содержащие метан, соответствуют требованиям ГОСТов и могут быть товаром.



Рисунок 1 – Схема установки утилизации опасных отходов

Технология включает в себя следующие процессы: термохимическая газификация, плазменная обработка газов, резкое охлаждение, предварительная очистка, метанирование, окончательная очистка газов и низкотемпературное разделение синтез-газа на топливные продукты. При этом в результате процесса получают продукты, которые могут быть непосредственно направлены на заправку автотранспорта, на хранение в газгольдеры или резервуары. Часть газа может быть использована для нужд отопления и получения электроэнергии.

Реактор выполнен в виде двух камер, одна из которых является реактором газификации, а другая – плазменным реактором. В газификаторе осуществляется процесс высокотемпературной газификации опасных отходов, позволяющий получить в качестве основного продукта газ определенного состава. Расплавленный металл выводится отдельно. Другой твердый продукт (шлак) из газификатора поступает для дальнейшей обработки в плазменный реактор и обрабатывается в струе плазмы. В результате получается экологически безопасная стекловидная масса. Вследствие того, что в плазменном реакторе обрабатывается не все сырье, а только его часть (не более 20 %), сокращается потребление электроэнергии.

В результате реакции пиролиза в плазменном реакторе получается синтез-газ, содержащий в основном окись углерода и водород. Этот газ может использоваться как топливный вместо метана для отопления и поддержания процесса пиролиза

или газификации. Кроме того, синтез-газ может быть подвергнут дальнейшей обработке в целях получения продукта, пригодного для реализации.

Возможно получение жидкого и газообразного продуктов.

1. Получение жидкого синтетического топлива осуществляется с помощью процесса Фишера–Тропша. Этот процесс восстановительной олигомеризации происходит в присутствии катализатора, содержащего металлы VIII группы – Fe, Co и Ru, в котором монооксид углерода CO и водород H₂ преобразуются в различные жидкие углеводороды. Цель процесса – получение из синтез-газа смеси углеводородов (олефинов, парафинов, церезинов, ароматических соединений и кислородсодержащих соединений – спирты, альдегиды, кетоны, кислоты и эфиры), которые могут использоваться в качестве синтетического смазочного масла или синтетического топлива. Процесс Фишера–Тропша хорошо зарекомендовал себя в крупномасштабных проектах по получению синтетических моторных топлив и других продуктов из газов, газификации угля, но плохо подходит для малых производств. Получаемый продукт требует дальнейшего обогащения. Это накладывает определенные ограничения на экономически обоснованную минимальную мощность единичной установки.

Известен также процесс «Мобил», основанный на получении из синтез-газа метанола и диметилового эфира (ДМЭ), а также высокооктанового бензина.

Оба процесса достаточно сложны для получения конечного товарного продукта, которым является топливо для заправки автотранспорта.

2. Другой путь обработки – получение газовых продуктов. Синтез-газ, полученный после газификации, обогащается метаном путем осуществления процесса метанирования. Для получения метана вводят водяной пар, при этом используют щелочной или никелевый катализатор. Поскольку реакция метанирования экзотермична, она может обеспечить теплом процесс газификации в целом и избавить от необходимости сжигания части сырья для ее поддержания. При этом содержание метана увеличивается благодаря наличию окиси и двуокиси углерода.

Температура протекания типичной реакции метанирования составляет 200...400 °С, т. е. она ниже, чем в процессе газификации.

Применение катализаторов при высокой температуре приводит к их быстрой дезактивации, преимущественно из-за интенсивного закоксовывания продуктами разложения смолистых веществ, выделяющихся при терморазложении сырья.

В качестве катализатора может быть использован как промышленный катализатор так и мартековский шлак, прошедший специальную активацию, который также проявляет довольно высокую активность в метанировании.

Достаточно низкая температура процесса газификации исключает плавление металла на первой ступени переработки, но в то же время способствует образованию вредных веществ в шлаке и газе. При этой температуре образуется небольшое количество жидких продуктов, которые также поступают на дальнейшую переработку в плазменную камеру. Плазменная дообработка сырья исключает образование смолистых и токсичных веществ, что способствует увеличению срока работы катализа-

торов.

Газ после газификации имеет малое содержание метана и большое содержание азота. Его теплотворная способность составляет около 8000 кДж/кг.

Для увеличения количества метана в реактор вводится водяной пар в присутствии катализатора. Ориентировочный состав газа, получаемого с использованием метанирования: H₂ – 17,9 %; CO – 1,2 %; CH₄ – 42,8 %; CO₂ – 34,5 %; N₂ – 1,2 %. Теплотворная способность этого газа составляет 18600 кДж/м³.

Газ, получаемый из реакторов, проходит очистку. Из газа удаляются H₂S, HCl, HF, SO₂. Удаление диоксинов обеспечивается применением плазменной обработки.

Система очистки включает в себя:

- впрыск раствора NaOH для очистки от HCl, HF, SO₂;
- очистку газа от мелкодисперсных твердых частиц с помощью водоземulsionного фильтра;
- очистку от сероводорода, которая осуществляется гидратом оксида железа либо активированным углем.

Суть предлагаемого способа очистки заключается в том, что газ пропускают через твердую сыпучую массу, содержащую Fe(OH)₃. При этом сероводород вступает в реакцию с Fe(OH)₃, образуя Fe₂S₃ и FeS. Одновременно в газ подается небольшое количество воздуха, который окисляет серу, содержащуюся в Fe₂S₃ и FeS, и снова образует гидрат окиси железа.

После этого газ поступает в установку разделения газа. Установка предназначена для разделения газа, состоящего из смеси компонентов, на отдельные составляющие для получения товарных продуктов, пригодных для дальнейшего использования и реализации. Схема установки показана на рисунке 2 [3].

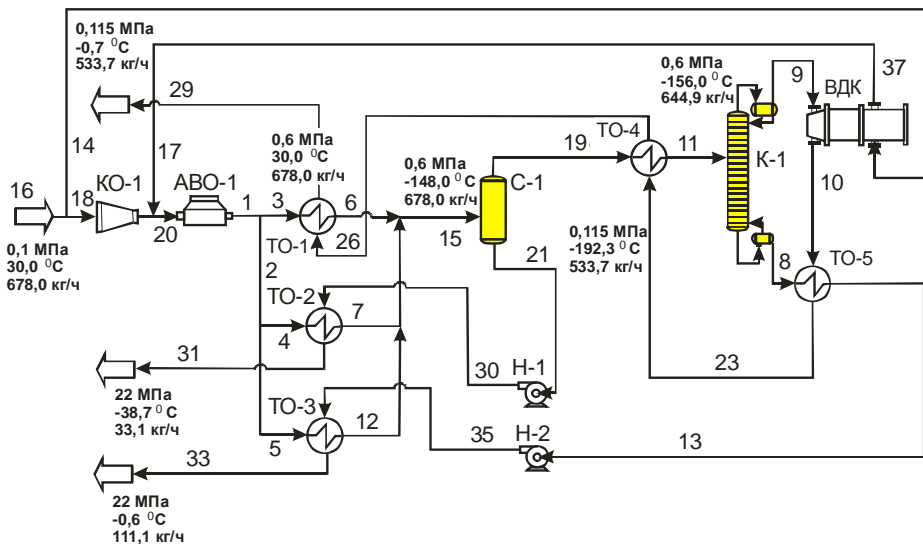


Рисунок 2 – Схема установки разделения газа

Газ после очистки от вредных примесей и сероводорода осушивается в блоке адсорбционной осушки и сжимается в компрессоре КО-1 с последующим охлаждением в воздухоохладителе АВО-1 до температуры окружающей среды. Далее газ разделяется на три части, поступает в теплообменники ТО-1, ТО-2, ТО-3 и охлаждается в них обрат-

ными потоками продуктов. После объединения всех трех потоков газ поступает в сепаратор С-1, где отделяется жидкая фаза.

Газообразная фаза из сепаратора проходит через теплообменник ТО-4, охлаждается и поступает в ректификационную колонну К-1. Из конденсатора колонны в верхней части отбирается газообразный

продукт, представляющий собой смесь CO , H_2 и N_2 . Этот газ, проходя через детандерную часть волнового детандер-компрессора (ВДК), совершает работу расширения, которая используется для сжатия части исходного газа параллельно компрессору КО-1.

В обратном потоке этот газ проходит через теплообменники ТО-5, ТО-4 и ТО-1, охлаждая входящий газ в прямом потоке. С низа колонны отбирается сжиженный продукт – метан, который нагнетается насосом до давления 22 МПа и, проходя через теплообменник, дегазируется и может быть

подан для заправки автомобилей. Третий поток образуется в сепараторе С-1 и состоит из метана, окиси углерода и азота. Он также нагнетается до давления 22 МПа.

Таким образом, получают три продукта, которые могут быть реализованы. Первый поток, состоящий из CO , H_2 и N_2 , используется для поддержания реакции газификации.

Разработанная печь показана на рисунке 3. Отработка плазменных технологий утилизации изображена на рисунках 4, 5.



Рисунок 3 – Печь для утилизации полимерных композиционных материалов

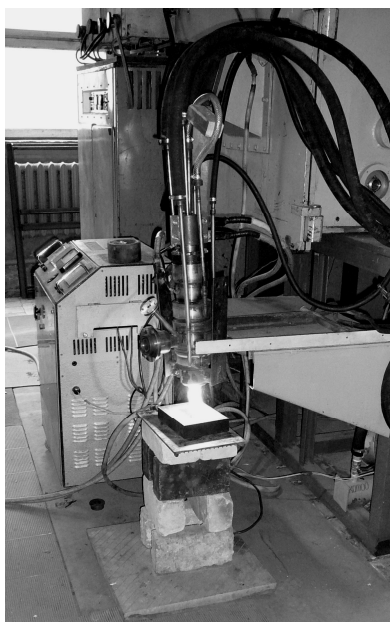


Рисунок 4 – Установка для отработки плазменной утилизации ПКМ

Процесс термохимической газификации с последующим дожиганием газов реализован в конструкции плазменной печи в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 6.

Для осуществления процесса внутри печи оборудована шахта, в которую загружается сырье. Снизу шахты располагается днище с отверстиями, через которые происходит отвод золы, образующейся при сгорании. Для обеспечения процесса горения в днище установлены фурмы для подачи воздуха снизу. В процессе газификации в шахте



Рисунок 5 – Нейтральный твердый остаток в виде остеклованного шлака

образуются слои, различающиеся процессами. Нижний слой – это слой горения, где происходит реакция окисления, далее следуют слой восстановления с недостатком кислорода, слой пиролиза и последний – слой сушки. По мере прохождения процесса сырье движется сверху вниз, а образующийся генераторный газ отводится вверх и далее – на дожигание струей плазмы.

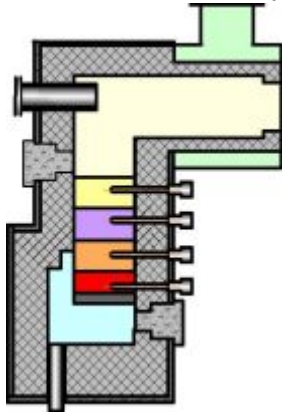


Рисунок 6 – Схема установки смешанной газификации

Для предотвращения рекомбинации молекул и образования диоксинов и фуранов в процессе охлаждения после обработки генераторного газа в камере дожигания необходимо обеспечить быстрое прохождение опасной области температур, при которой образуются диоксины и фураны. Они наиболее активно возникают в диапазоне температур от 400 до 850 °С.

После дожигания в плазменном газогенераторе температура газа составляет около 1000 °С. Поэтому в установке предусмотрено быстрое охлаждение генераторного газа, которое обеспечивается с помощью впрыска воды в поток газа, выходящего из газогенератора.

ВЫВОДЫ.

1. Разработанная система управления экологической безопасностью при утилизации твердых бытовых и производственных отходов позволяет не только утилизировать эти отходы с получением тепла или электроэнергии, но и получать товарный продукт – метан.

2. Для обеспечения длительной работы плазмотронов, устанавливаемых в камеру дожигания

газификатора и имеющих ограниченный ресурс непрерывной работы, необходимо произвести дополнительные исследования для продления ресурса, обусловленного эрозионным износом электродов.

3. В результате проведенных исследований разработана печь для смешанной газификации твердых бытовых и производственных отходов, содержащая камеру плазменного дожигания и позволяющая значительно снизить энергопотребление в процессе эксплуатации.

4. Разработанная установка разделения компонентов синтез-газа, содержащая в своем составе базовый элемент – волновой детандер-компрессор, позволяет разделять предварительно метанированный газ, состоящий из смеси компонентов, на отдельные составляющие для получения товарных продуктов, пригодных для дальнейшего использования и реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайленко, В. П. Особенности образования твердых бытовых отходов в Украине [Электронный ресурс] / В. П. Михайленко, И. Л. Алексеев, Г. Денафас и др. – Режим доступа: <http://waste.ua/eco/2012/municipal-waste/ukraine/>

2. Пат. 96684 Україна, МПК F23G 5/027 (2006.01). Спосіб утилізації твердих відходів виробництва / Кривцов В. С.; Нечипорук М. В.; Ерсамбетов В. Ш. та ін.; Заявник і патентоволодар Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – № а201008094; заявл. 29.06.10; опубл. 25.11.11, Бюл. № 22. – 3 с.: ил.

3. Нечипорук, Н.В. Альтернативная технология утилизации отходов жизнедеятельности [Текст] / Н.В. Нечипорук, В.Ш. Эрсамбетов // Научный журнал «Екологічна безпека»: Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского. – Кременчуг: КрНУ, 2012. – Вып. 2/2012 (14). – С. 80 – 84.

CONTROL SYSTEM OF ENVIRONMENTAL SAFETY DURING DISPOSAL OF SOLID HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL WASTE

V. Kobrin, N. Nechiporuk, V. Vambol

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»

vul. Chkalova, 17, Kharkiv, 61070, Ukraine. E-mail: violavambol@gmail.com

Was investigated the relevance of scientific and applied problem of environmental safety way to dispose of solid household and industrial waste. Analyzed the possible solutions to the problem of accumulation of environmentally hazardous waste production and consumption. Proposed the system of environmental control at the disposal of solid household and industrial waste. Based on the analysis of the results of the research has developed a technology that allows you to prevent the formation of highly toxic substances in the waste production and consumption and significantly reduce energy consumption. Showing the structure of a plasma furnace to implement the process of gasification of waste, followed by post-combustion gases under the proposed technology. Presented recycling technology allows to obtain products suitable for fueling vehicles, gas holders or storage tanks, heating and electricity.

Key words: the hazardous waste, recycle, plasma gasification.

REFERENCES

1. Mikhaylenko, V. P. (2012) «Features of municipal solid waste in Ukraine» [Electronic resource] / V. P. Mikhaylenko, I. L. Alekseevets, G. Denafas – The access mode: <http://waste.ua/eco/2012/municipal-waste/ukraine/>, Ukraine.

2. Patent 96684 Ukraine, МПК F23G 5/027 (2006.01). «Method of disposal of solid waste» /

Kryvtsov V. S., Nechiporuk N. V., Ersmambetov V. Sh. and others. – National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute». – № а201008094; stated 29.06.10; published 25.11.11. – 3 p.

3. Nechiporuk, N. V. Alternative technology-waste disposal [Text] / N. V. Nechiporuk, V. Sh. Ersmambetov // Scientific Journal «Ecological safety»: Kremenchug, 2012. – Edition 2/2012 (14). – P. 80 – 84.