

**Д. П. Грехов**  
**D. P. Grekhov**  
*strong.nefed@mail.ru*

**И. О. Мальцев**

**I. O. Maltsev**

**С. В. Анахов**

**S. V. Anakhov**

*sergej.anahov@rsvpu.ru*

ФГАОУ ВО «Российский государственный  
профессионально-педагогический университет», г. Екатеринбург  
Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ ПЛАЗМЕННОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ И ГАЗИФИКАЦИИ ОТХОДОВ**

### **EFFICIENCY OF PLASMA DECONTAMINATION AND WASTE GASIFICATION TECHNOLOGY**

**Аннотация.** Рассмотрены направления использования плазменных процессов в технологиях обезвреживания отходов. Отмечена актуальность и значимость внедрения технологий электроплазменного обезвреживания отходов, а также возможности решения имеющихся проблем. Приведены преимущества и недостатки плазменного обезвреживания.

**Abstract.** The directions of using plasma processes in waste decontamination technologies are considered. The relevance and significance of plasma technologies introduction for waste decontamination, as well as the possibility of solving existing problems, are noted. The advantages and disadvantages of plasma decontamination are given.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, утилизация отходов, плазменное обезвреживание, плазмотрон.

**Keywords:** ecological safety, waste recycling, plasma decontamination, plasma torch.

Как известно, современным трендам развития цивилизации – индустриализации, урбанизации, цифровой революции и др. – неизбежно сопутствует ряд проблем, среди которых одна из наиболее острых – повсеместное загрязнение окружающей среды. В поисках решения данной глобальной проблемы ученые ставят перед собой ряд задач, направленных на улучшение экологической обстановки. Наиболее значимой из этих задач является проблема обезвреживания и утилизации отходов производства и потребления, которые могут образовываться в различных фазовых состояниях (твердыми, жидкими и газообразными) с очень широким разнообразием по своему химическому составу. Основными источниками отходов помимо бытового потребления являются транспорт, объекты энергетики, предприятия нефтеперерабатывающей, химической, добывающей и других отраслей

промышленности. К настоящему времени разработан широкий круг технологий их обезвреживания, среди которых можно выделить ряд основных методов [4]:

- Механический, подразумевающий первичное отстаивание жидких отходов и последующую их фильтрацию, а также обезвреживание отходов на полигонах;
- Термический, или сжигание;
- Химический, представляющий собой нейтрализацию отходов в процессе химических реакций;
- Биологический, который основан на активации аборигенной (имевшейся до загрязнения) микрофлоры или внесении в грунт определенных культур микроорганизмов.

На сегодняшний день, одним из наиболее перспективных методов считается плазменное обезвреживание отходов [3]. Принцип работы применяемой в данном методе плазменной установки заключается в воздействии на отходы характерных для плазменной дуги (струи) экстремально высоких температур в несколько тысяч градусов при изолировании от кислородного окисления (плазменный пиролиз), а также в создании оптимального давления и обработки массы отходов потоком низкотемпературной плазмы. Применение экстремально высоких температур позволяет достичь показателей полного разрушения токсичных или сложно разлагаемых составляющих отходов, а также исключить синтез особо токсичных веществ – супертоксиантов (диоксинов, фуранов, бифенилов и т.д.) [2]. При строгом соблюдении температурных режимов процесса можно также избежать появления в процессе утилизации в образующемся синтез-газе жидкой фракции, смолы и ряда других веществ, которые образуются при обработке отходов при более низкотемпературных режимах.

В качестве иллюстрации подобной технологии, рассмотрим разработанную в Институте электротехники и электроразэнергетики РАН (г. С.-Петербург) установку по обезвреживанию отходов с технологией плазменной газификации (рис. 1) [6]. Данная установка имеет условную производительность порядка 50 кг/ч (зависит от типа отходов) и состоит из нескольких основных узлов – реактора-газификатора, генератора плазмы с системами питания, дожигателя, системы охлаждения и очистки отходящих газов. В основе технологии лежит применение высоковольтных генераторов плазмы (плазмотронов) переменного тока промышленной частоты мощностью до 50 кВт, использующих в качестве плазмообразующей среды воздух.

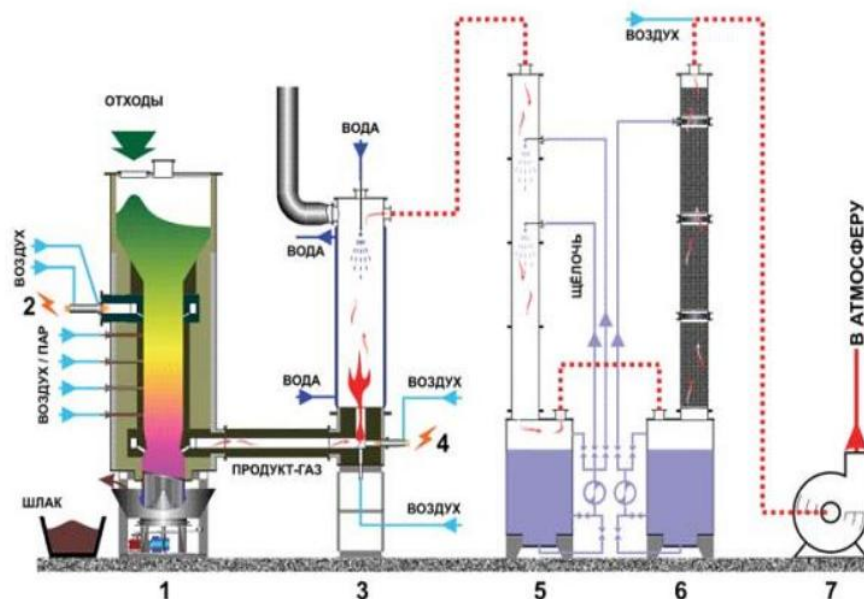


Рис. 1. Плазменная установка [6]: 1 – реактор-газификатор; 2 – генератор плазмы (до 50 кВт); 3 – дожигатель; 4 – генератор плазмы (6 кВт); 5 – скруббер распылительный; 6 – скруббер насадочный; 7 – вытяжной вентилятор.

Рассмотрим последовательно стадии работы завода плазменной газификации. Отходы помещаются в шахту загрузки, после чего осуществляется их подача через герметичный шлюз накопления в реактор-газификатор с регулировкой скорости и объема поступления. В реактор подается воздух и водяной пар, после чего смесь подвергается обработке потоком низкотемпературной плазмы. Образующийся в процессе высокотемпературных превращений синтетический газ выходит с нижней части камеры реактора и далее может быть отправлен на сжигание в газовую котельную установки, либо в квенчер (аппарат для испарительного охлаждения горячих газов перед их газоочисткой), после чего подвергнуться очистке и фильтрации. Прошедший очистку синтез-газ затем отправляется в компрессор, далее происходит отделение влаги, фильтрация и поступление в газовую турбину. Зольный остаток и некоторые несгораемые элементы поступают на дно резервуара с водой, где происходит остывание шлака и последующее его извлечение. Для непрерывной работы завода плазменной газификации необходимо постоянное горение дуги плазмы, а также периодическое поступление воздушно-паровой смеси и контроль уровня отходов в реакторе по мере преобразования их в синтез-газ [6].

Для обоснования эффективности работы подобной технологии следует сравнить метод плазменной газификации с другими технологиями переработки отходов, выделив преимущества и недостатки рассмотренной технологии.

Для начала хочется выделить основные плюсы плазменной газификации отходов [5]:

- Процесс обезвреживания происходит при высоких температурах — свыше 1200°C, обеспечивающих полное разложение органических и неорганических отходов, без выделения в атмосферу токсичных соединений типа диоксинов и фуранов.

- Минимизируется выделение опасных веществ благодаря воздействию высокотемпературных плазменных потоков и специальной конструкции реакторов с системой дожигания и фильтрации газообразных выбросов (в скрубберах).

- Появляется возможность максимально утилизировать отходы с наличием примесей, а также отходы, относящихся к категории опасных (ртуть, кадмий, свинец, ксенон, циан, радиоактивные отходы) [6, 7].

- Не требуется тщательная сортировка мусора с разделением на фракции перед утилизацией. Единственный процесс, которому должны подвергнуться отходы, это предварительное выделение из общей массы камней, кирпичей и металлических составляющих.

- В процессе утилизации не происходит выщелачивание, благодаря тому, что отходы, прежде чем попасть в реактор, сушатся и измельчаются.

- Плазменная переработка – замкнутый процесс, не требующий складирования отходов. Поступающий мусор сразу отправляется на утилизацию, а не хранится, дожидаясь своего времени.

- Плазменная утилизация мусора экологически и экономически выгодная технология, так как помимо безопасного уничтожения отходов происходит процесс газификации с образованием синтез-газа, энергию которого возможно использовать не только для работы станции, но также для нужд населения.

- В результате утилизации из отходов получают твердый шлаковый остаток, объем которого составляет примерно десятую часть от изначального количества мусора. Данный материал можно использовать в строительстве (в виде добавок в асфальтовые и бетонные смеси), так как он экологически безопасен и обладает необходимой прочностью.

- При достаточном уровне автоматизации и производительности технологии нет необходимости набирать большой штат сотрудников для работы предприятия. Поскольку данный метод не требует обработки и выщелачивания отходов и мусор не хранится в ожидании своего часа, а плазменная установка достаточно компактна [6], появляется возможность значительно сократить площадь земли, занимаемую оборудованием, по сравнению с другими технологиями.

Однако, для понимания проблем, решение которых необходимо для повышения эффективности процесса, необходимо упомянуть и ряд недостатков, которые свойственны технологии плазменной газификации [5]:

– Работа плазменных генераторов мощностью в десятки и даже сотни кВт требует достаточно больших затрат на электроэнергию. Однако, учитывая упомянутые возможности рекуперации энергии за счет использования синтез-газа, данный недостаток требует более обоснованного рассмотрения с учетом всех особенностей технологии.

– Для повышения эффективности газификации желательно измельчать отходы до размеров менее 100 мм до того, как они поступят в распределитель. Однако, данная рекомендация не является обязательным условием работы установки, так как применение данного метода основано на принципе бесперебойной работы плазменного генератора (плазмотрона), способного развивать мощности в сотни кВт при температурах в десятки тысяч градусов, что, в принципе, должно обеспечить термическое уничтожение и обезвреживание почти всех видов утилизируемых отходов.

– Материальные затраты (на приобретение и обслуживание оборудования) выше, чем в остальных методах утилизации мусора, из-за чего срок окупаемости технологии также немного более длительный. Опыт работы таких установок позволяет прогнозировать срок окупаемости подобного оборудования примерно в 4 года.

Перечисленные недостатки, с одной стороны, имеют общие черты для всех плазменных технологий (например, энергозатратность), а, с другой, носят специфический для рассмотренной технологии черты. Для их преодоления можно рассмотреть и другие схемы организации технологии плазменного обезвреживания отходов, когда, например, повышение эффективности высокотемпературного воздействия происходит на стадии подачи в плазменный реактор предварительно газифицированной смеси (в термохимическом реакторе, барботере и т.д.), либо, когда плазменной воздействию применяется только на стадии дожигания образующихся высокотоксичных газовых выбросов [1]. Целесообразно рассмотреть также и применение менее дорогостоящих и более простых в управлении дуговых плазмотронов постоянного тока вместо представленных в данном обзоре плазменных генераторов переменного тока. В результате можно получить высокоэффективную технологию, обеспечивающую не только полное уничтожение различных категорий отходов и мусора, но и частичное их использование в качестве вторичного сырья (рециклинг отходов). Ситуацию можно улучшить при организации на территории страны отдельного сбора твердых коммунальных отходов (ТКО) на бытовом уровне. Это позволит максимально использовать полезные вторичные ресурсы для

переработки, и полностью утилизировать опасные или не перерабатываемые отходы, производя из них энергию.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что преимуществ у данного метода существенно больше, чем недостатков. На наш взгляд, широкое внедрение на территории России технологий плазменной переработки отходов с применением современных цифровых методов управления позволит не только эффективно и безопасно избавиться от существенной части токсичных видов мусора, но также производить из отходов энергию, топливный газ и полезные для строительства виды продукции [5].

### **Список литературы.**

1. Анахов С. В., Матушкин А. В., Пыкин Ю. А. Обоснование способа плазменного дожигания газообразных продуктов переработки опасных отходов // Техносферная безопасность. 2020. № 4 (29). С. 23–36. URL: <https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB%2029/3.pdf>.
2. Anakhov S. V., Matushkin A.V., Pykin Yu. A. Study of the Processes of High Temperature Material Heating for Plasma Recycling // Materials Science Forum. 2020. Vol. 989. P. 775–780. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.989.775>.
3. Анахов С. В., Пыкин Ю. А. Экологическое проектирование: стратегии и технологии Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing : AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG, 2012. 125 с.
4. Обезвреживание отходов производства: современные методы // Утилизация промтоходов : сайт Научно-производственного Строительно-технологического Центра. URL: <https://npstc.ru/press/obezvrezhivanie-otkhodov-proizvodstva-sovremennye-metody/>.
5. Плазменная переработка мусора: плюсы и минусы // Нетмус. URL: <https://netmus.ru/press-center/articles/plazmennaya-pererabotka-musora/>.
6. Кумкова И. И. Плазменная газификация // Современное машиностроение. URL: <https://www.sovmash.com/node/57>.
7. Плазменно-пиролитическая переработка твердых РАО // ФГУП «Радон». URL: [https://radon.ru/line\\_activity/obrashchenie-s-rao/pererabotka-rao/plazmenno-piroliticheskaya-pererabotka-tverdykh-rao/](https://radon.ru/line_activity/obrashchenie-s-rao/pererabotka-rao/plazmenno-piroliticheskaya-pererabotka-tverdykh-rao/).