

**Анализ применения нетрадиционных энергетических ресурсов  
с использованием методов газификации**

Пехота А. Н.<sup>1</sup>, Хрусталева Б. М.<sup>1</sup>, Голубев В. П.<sup>2</sup>, Шавловский Д. В.<sup>3</sup>,  
Згурский Д. А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>РНПУП «Институт энергетики национальной академии наук Беларуси»,

<sup>3</sup>ГПО «Белтопгаз»,

Минск; Республика Беларусь,

<sup>4</sup>ГУЖКХ Гомельского облисполкома,

Гомель, Республика Беларусь

*Проанализирована возможность применения топливосжигающего оборудования с использованием методов газификации, для термической утилизации различных горючих отходов. Описаны закономерности использования брикетированного многокомпонентного твердого топлива на основе горючих отходов в условиях применения модульного сжигания с использованием методов газификации.*

В настоящее время проблема утилизации горючих отходов является одной из самых актуальных для Республики Беларусь, Российской Федерации, а также западного и азиатского сообщества. По оценке международных экспертов, в мире ежегодно образуется более 29 миллиардов тонн отходов, Большая их часть вывозится на свалки, где продолжает загрязнять окружающую среду вредными веществами из своего состава [1; 2]. Согласно данным в странах с передовой экономикой и высоким уровнем жизни населения уровень образования городских отходов на душу населения является самым высоким. Например, в таких странах европейского союза, как Швейцария он достигает почти 700 кг на душу населения, Дании 668 кг на душу населения, а в странах с невысоким уровнем жизни населения, таких как Румыния, Албания не превышает 280 кг [1]. Эти данные отражают различия в экономическом благосостоянии стран. При этом, большая часть горючих отходов, около 25–30 %, приходится на коммунальные органические отходы, нефтепродуктов и другие виды горючих отходов. Утилизация этих видов отходов является одним из наиболее важных. Применение безвредных для окружающей среды технологий и в тоже время экономически эффективных технологически процессов важное направление в инженерной и экологической деятельности любого развитого сообщества.

Ежегодный рост объёмов образования и накопления отходов опережает современные экономические и технологические возможности их применения, обезвреживания и утилизации. В сфере обращения с отходами в Беларуси и современном мире устойчиво доминируют принципы, базирующиеся на их извлечении с последующим складированием не доступных к переработке отходов на специальных полигонах. При этом складирование является существенной проблемой. Например, в Беларуси для этих нужд задействованы значительные площади, суммарно составляющие более 3,5 тыс. гектаров, при этом к настоящему эксплуатационные мощности более 40% полигонов уже полностью задействованы, что требует их дальнейшего расширения или строительство новых полигонов [1–5]. Основной целью деятельности в сфере обращения с отходами производства и потребления является снижение или стабилизация их отрицательного воздействия на состояние окружающей среды, а также предотвращение негативных последствий на здоровье людей, животного и растительного мира.

Международные тенденции в области обращения с отходами стремятся к иерархической последовательности методов обращения, обеспечивающих экологическую безопасность, по принципу от наиболее приоритетных методов утилизации к менее приоритетным: 1) предотвращение образования отходов; 2) уменьшение образования отходов или их минимизация; 3) повторное использование и переработка отходов; 4) использование отходов для получения энергии; 5) захоронение отходов.

Важным аспектом для организации обращения и переработки отходов производства и потребления, является определение объёмов образования с учетом их морфологического состава и применение доступных экологических технологий обезвреживания и утилизации.

В настоящее время основной технологией использования органических отходов для получения тепловой энергии является их сжигание. При этом для сжигания как твердых коммунальных отходов, так и горючих производственных отходов в основном используют 4 способа:

- пиролизное сжигание горючих отходов (предварительно подготовленных в виде брикетов или гранул, редко – пылевидное состояние);
- прямое сжигание без подготовки горючих отходов (неопасных при сжигании по выбросам вредных веществ или в котлах-утилизаторах);
- слоевое сжигание неподготовленных отходов (в специализированных мусоросжигательных установках или котлах-утилизаторах);
- слоевое и камерное сжигание в топках энергетических котлов или цементных печах (специально подготовленных отходов в виде брикетированного или гранулированного топлива, которое предварительно освобождено от балластных составляющих и имеющего постоянный фракционный состав).

Наибольшее распространение в настоящее время получают термические методы утилизации отходов, включающие в технологический процесс – пиролиз, сжигание и газификацию. Плюсы и минусы этих методов связаны с высокотемпературным сжиганием или инсинерацией. Инсинератор – это теплогенерирующее устройство, обеспечивающее высокотемпературную утилизацию отходов с обеспечением контролируемого обезвреживания образующихся дымовых газов. Главное отличие инсинераторов от других котлов, заключается в наличии специальной камеры дожига, которая обеспечивает полное обезвреживание помещенных в топку горючих отходов, посредством нагнетания температуры вплоть до 1300 °С и выше. Эта технология в основном используется в Европе для сжигания опасных отходов во вращающихся печах, однако этот процесс может быть применен и усовершенствован в условиях Республики Беларусь для других типов топливосжигающих устройств с созданием новых схем модульного сжигания горючих отходов различных производств, не нашедших технологического применения в других технологиях [6, с. 18; 7; 8].

Такая технология сжигания должна обеспечивать параметры экологичности выбросов. Для сжигания стандартизированных (традиционных) видов топлива технологические параметры сжигания в достаточной степени отработаны, однако в случае использования в качестве топлива многокомпонентные, например, торфосмеси с добавлением горючих отходов возникают, вопросы малоизученной тематики этих процессов. Эти риски связаны с непостоянным и часто неизвестным химическим составом отходов. Поэтому предпочтительнее разработать комплекс топливосжигающего оборудования и создать оптимальный многокомпонентный состав топливной смеси, который может экологически безопасно и экономически выгодно использовать максимально широкий спектр отходов в качестве топлива.

Применяемый в настоящее время для исследований модульный комплекс топливосжигающего оборудования позволяет использовать некоторые виды однокомпонентных отходов без подготовки и разработанные многокомпонентные составы твердого топлива с использованием широкого спектра горючих отходов различных производств (кожевенных, углеводородсодержащих и т. п.). Данное оборудование создано по модульному принципу. Каждый модуль выполняет свою функцию, обеспечивая контролируемую, согласованную и безопасную работу всего комплекса при сжигании и термической утилизации вредных выбросов в камере дожига. Модульный принцип позволяет легко адаптировать комплекс оборудования, как для горючих отходов, имеющих сложный многокомпонентный или даже не известный состав, так и для отходов хорошо известного и постоянного состава [8–11]. Провести адаптацию (настройку) одного модуля проще, быстрее и дешевле, чем приспособливать (переделывать) весь ком-

плекс оборудования по новый вид применяемого топлива или производственных горючих отходов.

Основные научные и технические решения, разработанного и применяемого для исследований комплекса оборудования, представлены на рисунке в виде структурно-технологической схемы модульного типа, позволяющей понять общие принципы процесса модульного сжигания многокомпонентных составов на основе отходов производственной и коммунальной жизнедеятельности.

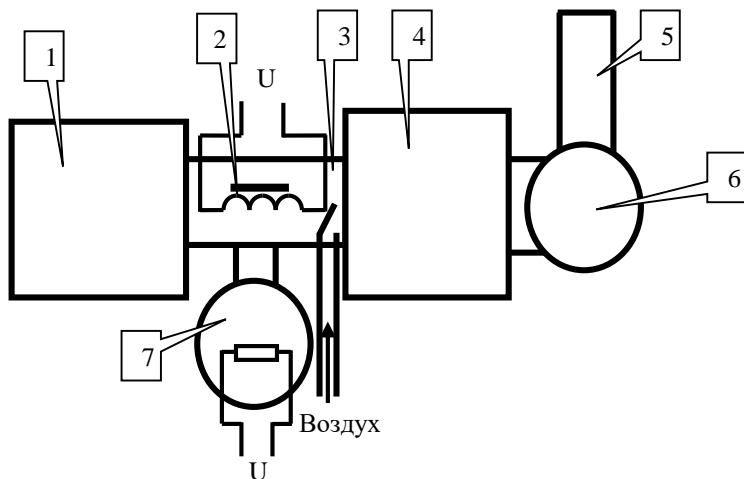


Рис. Структурная схема модульной установки сжигания альтернативных источников энергии на основе горючих отходов:

1 – энергетический модуль; 2 – магнетрон; 3 – камера дожига; 4 – теплообменник; 5 – дымовая труба; 6 – дымосос; 7 – модуль утилизации

В энергетическом модуле (1) при контролируемой подаче воздуха утилизируются энергоемкие органические отходы с образованием генераторного газа. В камеру дожига (3) поступает генераторный газ, который создает постоянный факел пламени. В модуле утилизации (поз. 7) идет процесс пиролиза органических отходов I–IV класса опасности в бескислородной среде. Пиролизный газ также поступает в камеру дожига, где происходит его смешивание с генераторным газом и их совместное сгорание в высокочастотном электромагнитном поле (2). При этом температура в камере дожига значительно превышает требуемые для обезвреживания особо опасных отходов и достигает 1200 °С и выше, что обеспечивает очистку отходящих с модулей дымовых газов даже от стойких органических загрязнителей (диоксины, фураны, пестициды).

Далее дымовые газы охлаждаются до требуемых температур, проходят через теплообменник (4), подогревая воду (воздух), используемую для отопления производственных помещений или горячего водоснабжения.

Температура сжигания в данных устройства, достигая 1200 °С и выше, имеет ряд преимуществ по сравнению с аналогичными процессами, протекающими, например, в традиционных котлах и тому подобных энергетических устройствах при температуре 800–900 °С [8; 9, с. 144; 11].

Модульное сжигание может быть использовано как для применения многокомпонентных составов брикетированного топлива на основе горючих отходов, так и для одновременной утилизации двух разных видов отходов, имеющих известные химические составы, за счет использования двух модулей утилизации. Такой подход и принцип работы позволяет утилизировать (обезвреживать) в установке одновременно различные виды горючих отходов различного происхождения.

Дополнительно, следует отметить низкую себестоимость процесса термической утилизации отходов. Фактически в процессе обезвреживания отходов (модуль утилизации) происходит использование энергии, получаемой из других отходов (энергетический модуль), при этом тепловая энергия от модульного сжигания отходов дополнительно может использоваться на нужды, например, теплоснабжения, отопления и (или) горячего водоснабжения [8; 11].

### **Выводы**

Комплексный подход, к получению многокомпонентных составов брикетированного топлива на основе горючих отходов и модульному сжиганию с учетом проведенных научных исследований, позволяет с учетом определения оптимального соотношения различных горючих отходов в составе топлива, экологически безопасно утилизировать широкий спектр отходов.

### **Литература**

1. See, H. L. Gasification characteristics of combustibile wastes in a 5 ton / day fixed bed gasifier / H. L. See, B. C. Kyon // Korean J. Chem. Eng. – 2023. - Vol. 23, No. 4. – S. 576–580.
2. Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28.07.2017 г., № 567 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2017 – № 567.
3. Гаврилова, В. Как в Беларуси планируют решать проблему использования коммунальных отходов // В. Гаврилова. – БЕЛТА. – 2019.
4. Государственное учреждение «Оператор вторичных материальных ресурсов». Отчёт за 2022 год. – 2023.

5. Концепция создания мощностей по производству альтернативного топлива из твердых коммунальных отходов и его использования // Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 22.08.2016 № 664. – 2023.

6. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо / А. Н. Пехота; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2021. – 243 с.

7. Пехота, А. Н. Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов / А. Н. Пехота, Нга Тху Нгуен, Фап Минь Ву и [др.]. // Наука и техника. – 2021. – № 1. – С. 58–65.

8. Пехота, А. Н. Эффективные способ термической утилизации горючих отходов различных производств / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv, В. П. Голубев, А.А. Бойко // Энергоэффективность. – 2024. – № 6. – С. 20–26.

9. Пехота, А. Н. Исследование термоаналитическими методами энергетических свойств брикетированного многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2022. – Т. 65, № 2. – С. 143–155.

10. Пехота, А. Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием некондиционных горючих коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника. – 2022. – № 2. – С. 164–174.

11. Карпович, В. А. Высокотемпературная резонансно-микроволновая установка для обезвреживания медицинских отходов / В. А. Карпович, В. П. Голубев, В. В. Сенчук, В. Н. Родионова [и др.] // Экологический вестник России. – 2014. – №. 9. – С. 39–41.

УДК 628.425; 662.8

### **Анализ проблем регенерации энергии с использованием твердых коммунальных отходов**

Згурский Д. А.<sup>1</sup>, Пехота А. Н.<sup>2</sup>, Хрусталеv Б. М.<sup>2</sup>, Голубев В. П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГУЖКХ Гомельского облисполкома,  
Гомель, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>3</sup>РНПУП «Институт энергетика национальной академии наук Беларуси»,  
Минск, Республика Беларусь

*Проанализирована возможность применения твердых коммунальных отходов в качестве энергетического ресурса, при этом осуществляется термическая утилизация с десятикратным уменьшением объемов образования отходов.*