

УДК 621.8.03

## ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕЗ-ГАЗА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

<sup>1</sup>Шартдинов А.Ш., <sup>1</sup>Квятковская А.С., <sup>1</sup>Эпимахов Н.Л., <sup>2</sup>Силантьева Л.Я.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,

Уфа, e-mail: shartdinov72@gmail.com, nikelon32@gmail.com;

<sup>2</sup>ООО НПЗ «Синтез», e-mail: npp-sintez@yandex.ru

В статье исследуются проблемы кризисной ситуации в области энергетических ресурсов и постоянно увеличивающихся объёмов промышленных и коммунальных отходов, которые ведут к постоянному ухудшению состояния окружающей среды. Поднимаются проблемы, связанные как с добычей биогаза, которая ведётся непосредственно на полигонах, отведенных под свалки, так и с мусоросжигающими заводами, при работе которых в атмосферу выделяются токсины. Для решения поставленных проблем предложен путь утилизации твердых бытовых отходов методом их газификации, за счет теплоразложения органики при неполном окислении кислородом воздуха и применения нанотехнологий с получением метана, содержащего газ с теплотворной способностью от 2400 до 4000 ккал/нм<sup>3</sup> по сравнению с мировыми аналогами, теплотворная способность которых не превышает 1200 ккал/нм<sup>3</sup>. Проанализировано предложенное на рынке оборудование различных производителей для газификации твердых бытовых отходов. По результатам анализа сделан выбор в пользу производителя ООО НПЗ «Синтез», оборудование которого позволяет получать газ с наивысшей теплотворной способностью, расходуя при этом минимум средств на производство. Показаны преимущества использования полученного газа вместо природного газа, при работе в пароводяных котлах, в газопоршневых и газотурбинных электростанциях и при синтезе жидких углеводородов. Результаты исследования показывают, что применение синтез-газа для производства альтернативных источников энергии – весьма выгодное и перспективное направление, которое находится на ранних этапах развития в России.

**Ключевые слова:** синтез-газ, энергообеспечение, экологическая проблема, твердые коммунальные отходы, газификация, пиролиз, зольный остаток, метан

## USE OF SYNTHESIS GAS FOR THE PRODUCTION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

<sup>1</sup>Shartdinov A.Sh., <sup>1</sup>Kvyatkovskaya A.S., <sup>1</sup>Epimakhov N.L., <sup>2</sup>Silanteva L.Ya.

<sup>1</sup>Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: shartdinov72@gmail.com, nikelon32@gmail.com;

<sup>2</sup>Research and Production Enterprise SINTEZ, LLC, e-mail: npp-sintez@yandex.ru

The article examines the problems of the crisis situation in the field of energy resources and constantly increasing volumes of industrial and municipal waste, which lead to a constant deterioration of the environment. Problems are raised both with the extraction of biogas, which is conducted directly on landfills designated for landfills, and with incineration plants, during which toxins are released into the atmosphere. To solve these problems, we propose a way to dispose of solid household waste by heating it, due to heat release during incomplete oxidation to produce high-calorie (2000÷4000 kcal/Nm<sup>3</sup> compared to world analogues up to 1200 kcal/Nm<sup>3</sup>) methane containing synthetic gas. The article analyzes the equipment offered on the market for gasification of solid household waste from various manufacturers. According to the results of the analysis, a choice was made in favor of the manufacturer NPP Sintez LLC, whose equipment allows to obtain gas with the highest calorific value, while spending a minimum of money on production. The advantages of using the resulting gas instead of natural gas, when working in steam boilers, in gas-piston and gas-turbine power plants, and in the synthesis of liquid hydrocarbons are shown. The results of the study show that the use of syngas for the production of alternative energy sources is a very profitable and promising direction, which is at an early stage of development in Russia.

**Keywords:** synthesis gas, energy supply, environmental problem, municipal solid waste, gasification, pyrolysis, ash residue, methane

На сегодняшний день всё больший оборот набирают проблемы нехватки энергоресурсов и возрастающих объёмов твердых коммунальных отходов, приводящих к загрязнению окружающей среды. Потенциальным решением указанных проблем может стать путь переработки органических отходов в конечные полезные продукты.

Обращение с твердыми отходами и их обработка могут смягчить неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, а также поддержать экономическое развитие и качество жизни. Ряд термохимических методов обработки отходов (то есть пути преобразования отходов в энергию,

такие как пиролиз, газификация и сжигание) могут преобразовывать твердые отходы в энергию, в то время как технология газификации обеспечивает эффективное и экологически безопасное решение для производства энергии в форме синтез-газа. Органические отходы содержат в себе два основных компонента – углерод и водород, которые могут подвергаться термохимическому разложению. Гниение твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) происходит с выделением биогаза (свалочного газа) и фильтрата, имеющего большую концентрацию метана. Полигоны, выделенные под свалки, являются местами добычи данного газа [1].

Получение энергии из отходов – одна из лучших альтернатив экологически безопасному обращению с отходами. Массовое сжигание обычно является предпочтительным вариантом. Обычно это касается крупных объектов, где перерабатывается более 500 т отходов в сутки. Получение синтез-газа из отходов также имеет неоднозначный успех. Непосредственно перед использованием в когенерации на газопоршневых электростанциях добытый газ очищают. Известный метод добычи, заключающийся в сборе газа сверлением шурфов и установкой перфорированных ловушек, позволяет собрать объёмы биогаза только с 20% от общей массы захороненных ТКО. Оставшиеся 80% объёмов мусора приводят к парниковым выбросам, ядовитым стокам и выделению фильтрата [2]. Также для переработки коммунальных отходов используют мусоросжигательные заводы, которые по нормам должны быть оборудованы системой фильтрации для избегания выбросов токсинов в атмосферу. К тому же дополнительные проблемы возникают с зольным остатком, который концентрирует в себе активные формы тяжелых металлов [3]. Использование пиролизной технологии сопровождается двумя проблемами. Первая связана с неполным разложением органических веществ, что приводит к вновь синтезируемым токсинам, выделяемым в пиролизных котлах, вторая – с утилизацией коксового остатка, в котором содержатся активные формы тяжелых металлов [4]. Также пиролиз является весьма энергозатратным методом. Развивающимся направлением в переработке твердых бытовых отходов стал путь преобразования органической части топлива в горючие газы.

Цель исследования заключается в проведении анализа потенциального метода решения проблем нехватки энергоресурсов и постоянно возрастающих объёмов промышленных и коммунальных отходов за счет безотходной переработки органических отходов с помощью их превращения в полезные продукты, снижая вред окружающей среде.

#### *Анализ литературных источников*

Процессы газификации включают реакцию углеродсодержащего сырья с кислородсодержащим реагентом, обычно кислородом, воздухом, паром или диоксидом углерода, обычно при температурах выше 800 °С. Он включает частичное окисление вещества, что подразумевает добавление кислорода, но его количества недостаточно для полного окисления топлива и полного сгорания [5]. Основным продуктом является синтез-газ, который представляет собой смесь газов,

включая CO и H<sub>2</sub>, которую можно использовать для производства топлива и химикатов или сжигать для выработки тепла или электричества. Некоторыми побочными продуктами являются зола и смолы, в зависимости от используемой технологии.

На рынке оборудования преобразования органической части топлива в горючие газы предлагаются газогенераторы на основе прямого процесса, которые вырабатывают генераторный газ, который не подлежит какой-либо очистке, и применяется на сегодняшний день только в отопительных системах. При сгорании данного газа выделяется тепло, количество которого не превышает 1100 Ккал/нм<sup>3</sup> (рис. 1). Помимо тепла сжигание генераторного газа сопровождается выделением токсинов [4].

Одним из методов пиролиза является процесс использования расплава солей, где соли нагреваются до температуры близкой к 2000 °С, а затем данный агент проходит через слой органики, находящейся в процессе пиролиза. Данный процесс имеет недостатки: сложность технологии и большие затраты.

Метод прямой газификации является одним из методов газификации, который проводится под высоким давлением, где органика и окислительный агент движутся навстречу друг другу. Также способ прямой газификации допускает применение плазматронов, что приводит к увеличению затрат, при этом теплотворная способность не превышает 1100 ккал/нм<sup>3</sup> [5].

Таким образом, необходимо выбрать наиболее подходящее оборудование для газификации органических отходов, которое позволит получать газ с наибольшим количеством теплоты, выделяемой при сгорании топлива, расходуя при этом минимальное количество средств на производство. В табл. 1 приведены различные производители подобного оборудования с его характеристиками.

Анализ табл. 1 показал, что наилучшим производителем оборудования для газификации является компания ООО НПП «Синтез». В сравнении с другими производителями данное оборудование отличается наивысшим показателем добычи как по виду, так и величине. Оборудование компании «Синтез» включает наибольшее количество видов перерабатываемого сырья, а также способно работать в автоматическом режиме. Теплотворная способность газа, производимого по технологии данной компании, в 3–4 раза выше, чем у остальных, по степени очистки газа данной компании нет аналогов в мире, к тому же оборудование отличается наименьшей тем-

пературой на выходе газогенератора (ниже в 13 раз). При работе отсутствуют вредные выбросы, что подтверждается сертифика-

том. Профилактические работы требуются один раз в год, в то время как у остальных необходимы раз в месяц [6].



Рис. 1. Комплекс оборудования прямой газификации ТКО: 1 – загрузочное устройство, 2 – газогенератор, 3 – бак с водой, 4 – циклон, 5 – бак распределитель, 6 – факел генераторного газа

Таблица 1

Характеристика оборудования различных производителей для газификации

| Показатель   | Производители   |  |   |   |
|--|---|--|---|---|
|  | ЗАО «Перспектива»   | НПО «Инверсия»                           | НПО «Салют»   | ООО НПП «Синтез»  |
| Добыча   | По газу от 85 до 2800 м <sup>3</sup> /час, по энергии от 30 до 1000 кВт/час | По энергии от 8 до 1000 кВт/час          | 1000 кВт  | По газу от 30 до 3000 м <sup>3</sup> /час, по энергии от 30 до 3000 кВт/час; по теплу от 3,3 до 3300 кВт    |
| Вид топлива  | Деревоотходы, биомасса, отходы растениеводства, уголь                       | Дрова, торф                              | ТКО   | Деревоотходы, ТКО, биомасса, отходы растениеводства, торф, уголь, сланцы, иловые осадки очистных сооружений |
| Управление   | Полуавтоматическое  | Ручное                                   | Периодического действия                                       | Автоматическое  |
| Теплотворная способность газа (ккал/м <sup>3</sup> ) | 900–1100  | 900–1100                                 | 900–1100  | 2800–4000   |
| Температура на выходе газогенератора                 | 200°  | 400°                                     | 400°  | 30°   |
| Вредные выбросы                                      | Отсутствуют (сертификат)  | Дым, смолистая жидкость                  | Выбросы в атмосферу   | Отсутствуют (сертификат)  |
| Отходы работы ГТТ                                    | Зола (удобрение) 1% (заключение Ростехнадзора)                              | Зола                                     | Зола  | Зола (удобрение) 1% (заключение Ростехнадзора)  |
| Степень очистки газа                                 | Твердые частицы до 100 мкм (95%), смола не отделяется                       | Газ не очищается от мех. примесей и смол | Очистка отсутствует, невозможно применение в ГПЭ и в горелках | Твердые частицы до 10 мкм (95%) Смолосодержание 0,1 мг/м <sup>3</sup>                                       |
| Ресурс газопоршневой электростанции                  | 5000 ч  | 5000 ч                                   | Применение ГПЭ невозможно                                     | 20000–40000 ч   |
| Профилактические работы                              | 1 раз/мес   | 1 раз/мес                                | 1 раз/мес   | 1 раз/год   |





Рис. 2. Комплекс газификации производства ООО «НПП «Синтез»: 1 – реактор газификации, 2 – теплообменник стабилизатор газа, 3 – рабочий сепаратор, 4 – газопоршневая электростанция в контейнере, 5 – трубопроводы, 6 – резервный сепаратор, 7 – шкаф управления

Такие преимущества оборудования предприятия ООО «НПП «Синтез» обуславливаются использованием принципа обратного автотермохимического процесса газификации, который заключается в возможности первичного генераторного газа преодолеть тот температурный промежуток, который вновь приводит к синтезу углеводородных токсинов. Затем генераторный газ проходит стадию синтеза метана, основанной на нанотехнологии производства большого количества метана без применения катализаторов, в результате увеличивая теплотворную способность при сгорании синтезированного газа, по сравнению с генераторным, в три раза (рис. 2).

Следующим этапом в процессе получения синтез-газа является очистка и остужение, способствующее выработке теплоносителя в виде горячей воды. Данный газ имеет приблизительно следующий состав:  $\text{CO} = 15,4\%$ ;  $\text{H}_2 = 11\%$ ;  $\text{CH}_4 = 28\%$ ;  $\text{C}_n\text{H}_m = 0,1\%$ ;  $\text{N}_2 = 41\%$ ;  $\text{CO}_2 = 4,5\%$ . Количество теплоты, выделяемой при сгорании, колеблется от  $2200 \text{ Ккал/м}^3$  до  $4000 \text{ Ккал/м}^3$ . Применение синтез-газа в двигателях внутреннего сгорания с соответствующей модернизацией позволяет иметь потерю мощности менее  $7\%$ , относительно применения природного газа [4].

В дальнейшем предприятие ООО «НПП «Синтез» планирует применить метод автотермохимического процесса обратной газификации для мусороперерабатывающих заводов. Примером могут послужить два объекта. Первый построен в Белгородской области. Объект предполагает переработку ТКО с начальным объемом  $100 \text{ тыс. т}$  в год. Данный проект предлагает повторную пе-

реработку материала после сортировки, а оставшиеся технологические хвосты способствуют получению горючего синтез-газа при их переработке в топливные брикеты, подвергающиеся процессу газификации [7]. Полученный синтетический газ проходит определенный подготовительный процесс, а затем отправляется на получение электрической и тепловой энергии. Зольный остаток подвергается процессу разрушения токсинов. Стоимость  $1 \text{ кВт}$  электрической энергии при использовании данного метода составляет менее  $20$  копеек (мощность электростанции  $14 \text{ МВт}$ ). Охлаждение синтетического газа позволяет получить попутный продукт в виде тепловой энергии. Прочим источником тепловой энергии станет охлаждение выхлопных газов, данный метод газификации соответствует стандарту ЕВРО – 5 [5]. Другими попутными продуктами являются дистиллированная вода, моноароматические углеводороды, гудрон. Благодаря низким параметрам затрат и колоссальным объемам выработки электроэнергии проект утилизации твердых бытовых отходов переходит в разряд высокодоходных. Реализация данного проекта позволит выполнить следующие задачи:

- полная безотходная переработка ТКО;
- снижение экологической нагрузки на экосистему;
- близкое к городу расположение предприятий;
- снижение коммунальных, транспортных и строительных расходов.

На втором объекте, расположенном в Болгарии, предприятие ООО «НПП «Синтез» поставило и запустило в эксплуатацию «Комплекс» с выработкой синтез-газа в ко-

личестве 1500 нм<sup>3</sup>/час, где топливом для газификации служит древесная щепа бука. Бук имеет более плотную древесину и высокую теплотворную способность, чем древесина сосны, березы, помимо этого бук имеет более высокую температуру термохимической реакции [8]. Это способствует протеканию реакции регенерации с наивысшим коэффициентом восстановления первичных негорючих газов до горючих, а также протеканию реакций синтеза метана. Количество метана в производимом синтез-газе достигает 45 %, что существенно повышает его теплотворную способность. Потенциал электрической мощности «Комплекса» 1,5 МВт [9]. Процесс обратной газификации органики позволяет получать жидкие углеводороды: синтетическую нефть, метанол, бензин, авиационный керосин, дизельное топливо [6].

#### Материалы и методы исследования

Предприятие ООО «НПП «Синтез» провело многочисленные исследования как в создании, так и усовершенствовании оборудования и технологии газификации

органических веществ различного происхождения. Был проведен комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в исследовании технологии переработки ТБО, подвергая его переработке в оборудовании ООО «НПП «Синтез».

#### Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследований были получены результаты состава синтез-газа (табл. 2), результаты исследования зольного остатка (табл. 3), а также результаты выхлопа газопоршневой электростанции после использования синтез-газа в его работе (табл. 4).

Таким образом, применение синтез-газа позволяет решить проблемы кризисной ситуации в области энергоресурсов и возрастающих объёмов промышленных и коммунальных отходов. Результатом переработки ТКО с получением синтез-газа является производство тепловой и электрической энергии, жидких углеводородов, а также снижение вреда окружающей среде, путём переработки промышленных и коммунальных отходов.

Таблица 2

Состав синтез-газа при газификации

| Дата отбора | Наименование источника                   | Нагрузка топлива                            | Наименование ингредиентов                    | Концентрация с указанием погрешности % об. |
|-------------|--|---|--|--|
|             |  |   |  | После очистки                              |
| 27.03.      | Газогенератор КЭЭГ-500 ООО «НПП «Синтез» | Генераторный газ полученный из брикетов ТБО | Метан  |  |
|             |  |   | Кислород                                     | 34   |
|             |  |   | Водород                                      | 0  |
|             |  |   | Сероводород                                  | 7,5  |
|             |  |   | Диоксид серы                                 | 0,0  |
|             |  |   | Окись азота                                  | 0,03                                       |
|             |  |   | Оксид углерода                               | 12   |
|             |  |   | Диоксид углерода                             | 4,9  |
|             |  |   | Азот   | 41,3                                       |
|             |  |   | Углеводороды C <sub>2</sub> -C <sub>10</sub> | 0,255                                      |

Таблица 3

Зольный остаток при газификации

| Дата отбора | Наименование источника  | Нагрузка топлива | Наименование ингредиентов | Концентрация с указанием погрешности % об. |               | Нормативная документация |
|-------------|---|------------------|---------------------------|--|---------------|--------------------------|
|             |   |                  |                           | Норма ПДК                                  | После очистки |                          |
| 27.03.      | Содержание токсичных материалов в золе после газификации брикетов ТБО | Полиграф ABC-1   | Кадмий                    | 0,5  | 0,01          | ГОСТ Р 51301-99          |
|             |   |                  | Медь                      | 3,0  | 0,046         |                          |
|             |   |                  | Цинк                      | 23,0                                       | 4,67          |                          |
|             |   |                  | Никель                    | 4,0  | 0,09          |                          |
|             |   |                  | Марганец                  | 700,0                                      | 0,005         |                          |
|             |   |                  | Хром                      | 6,0  | 2,5           |                          |
| Свинец      | 6,0   | 1,3              |                           |  |               |                          |

Таблица 4

Выхлоп после газопоршневой электростанции

| Наименование источника | Нагрузка топлива   | Наименование ингредиентов                    | Концентрация с указанием погрешности % об. |
|------------------------|--|--|--|
|                        |  |  | После очистки                              |
| Газогенератор КЭЭГ-500 | Генераторный газ из брикетов ТБО – выхлоп после газопоршневой электростанции | Метан  |  |
|                        |  | Кислород                                     | 0  |
|                        |  | Водород                                      | 4  |
|                        |  | Сероводород                                  | 0  |
|                        |  | Диоксид серы                                 | 0,001                                      |
|                        |  | Окись азота                                  | 0,002                                      |
|                        |  | Оксид углерода                               | 0,0013                                     |
|                        |  | Диоксид углерода                             | 0,1  |
|                        |  | Азот   | 17,857                                     |
|                        |  | Углеводороды C <sub>2</sub> -C <sub>10</sub> | 78,0207                                    |
|                        |  | 0  |  |

**Заключение**

Биогаз, молекула, которая приобретает все больший интерес как топливный вектор, на протяжении десятилетий рассматривалась как кандидат на перенос энергии, производство энергии и поддержку систем отопления. Однако особые характеристики молекулы всегда делали ее химическим веществом с низкой выгодой, если она вообще имела место, по сравнению с обычным ископаемым топливом. Тем не менее текущая потребность в декарбонизации нашей экономики делает решающим поиск новых методов использования химических веществ, таких как биогаз, которые можно производить и использовать без выбросов оксидов углерода. Таким образом, текущие усилия в этой области побуждают ученых, промышленность и правительства серьезно вкладывать усилия в разработку целостных решений, способных сделать аммиак жизнеспособным топливом для перехода к чистому будущему.

**Список литературы**

1. Ковалёв В.Е., Гусев А.Л., Шалимов Ю.Н. // Альтернативная энергетика и экология. 2010. № 6 (86). С. 20–25.

2. Елизарьев А.Н., Кияшко И.Ю., Фашевская Т.Б., Красногорская Н.Н. Оценка влияния свалочного фильтрата на водные объекты. Качественный аспект // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 4. С. 22–28.

3. Силантьева Л., Фёдоров Е. Как получить энергоресурсы из отходов // Комбикорма. 2016. № 2. С. 49–51.

4. Евро – 5 экологический стандарт, регулирующий содержание вредных веществ в выхлопных газах [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%B2%D1%80%D0%BE-5> (дата обращения: 11.03.2021).

5. Минаев В.И. Применение безотходных технологий в решении экологических, продовольственных и социальных проблем // Новые технологии газовой, нефтяной промышленности, энергетики и связи. 2015. Т. 22. С. 266–272.

6. Обороин П.К. Способы получения синтез-газа // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием). 2012. С. 349–352.

7. Скотт Стефен, Брюс Джон. Способ получения синтез-газа из реакционной газовой смеси, способ получения второго синтез-газа, способ получения химического продукта, использующего синтез-газ и использующего второй синтез-газ. Патент на изобретение RU 2161120 C2 27.12.2000.

8. Спиридонова А.В., Дрязьянова В.П. Пиролизный способ получения альтернативного моторного топлива // Вестник ИРГСХА. 2018. № 84. С. 150–156.

9. Косивцов Ю.Ю., Сульман Э.М. Технология пиролиза органических материалов: монография. Тверь: ТГТУ, 2010. 124 с.