

УДК 62-620.97

Кукуев Михаил Дмитриевич, магистрант, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград

Kukuev Mikhail Dmitrievich, Graduate Student, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad

e-mail: misha.kukuev@yahoo.com

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТКО В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Современные технологии утилизации ТКО требуют эффективных и экологичных решений. Особую актуальность приобретают методы, позволяющие совмещать переработку отходов с генерацией энергии. Одним из таких методов является плазменная газификация, превращающая отходы в синтез-газ для выработки электроэнергии. В работе рассматривается использование плазменно-реакторных комплексов и газотурбинных установок для энергетической утилизации ТКО, анализируются энергетические затраты, эффективность процессов и критерии выбора площадки для ТЭС. Пилотным проектом является объект на полигоне в посёлке Жаворонково Калининградской области.

Annotation. Modern technologies for the disposal of solid municipal waste require efficient and environmentally friendly solutions. Methods that allow combining waste processing with energy generation are becoming especially relevant. One of these methods is plasma gasification, which converts waste into synthesis gas for generating electricity. The paper examines the use of plasma reactor complexes and gas turbine units for the energy disposal of solid municipal waste, analyzes energy costs, process efficiency and criteria for selecting a site for a thermal power plant. The pilot project is a facility at a landfill in the village of Zhavoronkovo in the Kaliningrad Region.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы, утилизация отходов, потенциал отходов, синтез-газ, технология переработки

Keywords: municipal solid waste, waste disposal, waste potential, synthesis gas, recycling technology

Актуальность проблемы управления производственными и бытовыми отходами на сегодняшний день очевидна и неоспорима уже на основании существования целого ряда федеральных программных документов, направленных на ее решение [1,2,3]. На региональных и муниципальных уровнях на первый план выдвигается задача комплексного управления коммунальными отходами.

В Калининградской области ежегодно только твердых коммунальных отходов (ТКО) накапливается свыше 200 тысяч тонн, при существующем уровне утилизации, не превышающем 16-20 % [4]. Это определяет вывоз и захоронение на полигонах основной массы ТКО, как базовую существующую технологию в региональной системе управления отходами. Действующая система управления ТКО не предусматривает сортировку и накопление отходов по видам, а также не решает проблему сбора, накопления и обезвреживания особо опасных отходов, таких как люминесцентные и энергосберегающие лампы, элементы питания, что приводит к их попаданию в состав смешанных ТКО. Уровень извлечения вторичного сырья из сортируемых отходов остаётся низким и составляет всего 2–3%.

Актуальное состояние полигонов ТКО в регионе проиллюстрировано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема размещения полигонов ТКО в Калининградской области

Все это характеризует рынок утилизации ТКО, как находящийся на очень ранней стадии развития. Организованная переработка ориентирована на брикетирование и захоронение, при минимальной ручной сортировке. Интегрированная система переработки мусора отсутствует. Очевидно, что приоритетной тенденцией на период среднесрочной перспективы является переход к традиционной для развитых стран комплексной системе утилизации ТКО с повышением степени повторного использования извлекаемых ресурсов.

Решению вопроса оптимального использования утилизируемых фракций твердых коммунальных отходов предшествует проведение подробных исследований по каждому объекту размещения отходов для установления морфологического состава (рисунок 2) и оценки практически значимых потенциалов ТКО в условиях эффективной организации деятельности регионального оператора по обращению с твердыми коммунальными отходами.

Так, в частности, энергетический потенциал ТКО усредненного морфологического состава сопоставим с энергетическим потенциалом торфа и некоторых видов бурых углей, что потенциально ставит твердые бытовые отходы в один ряд с низкосортными энергетическими топливами. ТКО уже давно и практически во всех промышленно развитых странах

рассматриваются как один из перспективных возобновляемых источников получения электроэнергии.

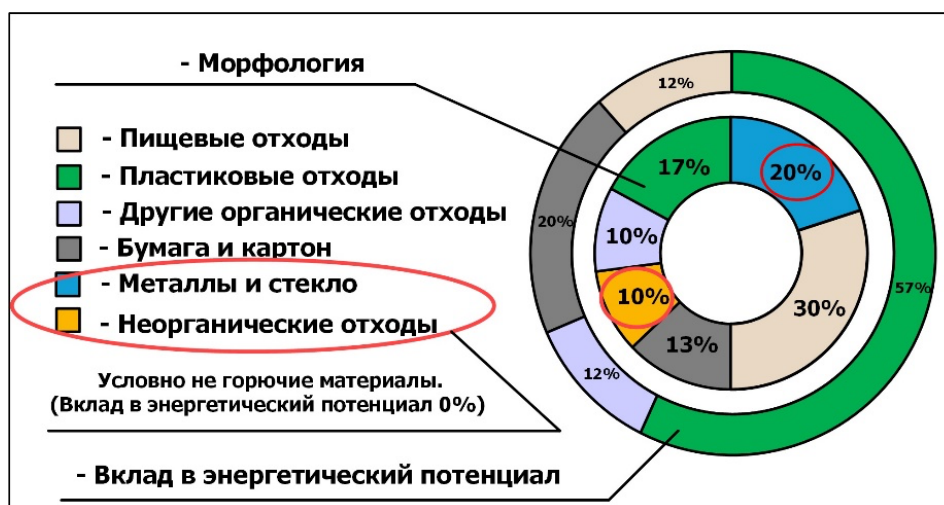


Рисунок 2 – Структура морфологического состава ТКО в Калининградской области

Цель данной работы – на примере Калининградской области проанализировать энерготехнологическую эффективность использования твердых коммунальных отходов для промышленной выработки тепловой и электрической энергии.

Предприятия, термически утилизирующие твердые бытовые отходы коммунального происхождения, принято делить на мусоросжигательные заводы и теплоэлектростанции (ТЭС или ТЭЦ на ТКО). На обоих типах энергообъектов возможна выработка товарной электрической и тепловой энергии, но статус ТЭС (ТЭЦ) имеют только те предприятия, которые отвечают строго определенными нормативным требованиям в части показателей энергетической эффективности [5]. Содержание этих требований заключается в том, что для энергоэффективных ТЭС на ТКО величина импортируемой энергии для собственных нужд ТЭС не должна превышать половины располагаемой теплоты сгорания ТКО.

Наиболее дискуссионным при выборе и технически сложным в реализации является технологический процесс преобразования химически связанной тепловой энергии горючих компонентов отходов в явную теплоту

для последующего превращения в товарные виды энергии. В самом общем случае можно рассматривать как физико-химические, так и химико-биологические способы выделения аккумулированной компонентами отходов энергии. Из числа химико-биологических методов следует, в первую очередь, выделить процессы анаэробного сбраживания с получением, в качестве промежуточного носителя энергии – биогаза. Физико-химические методы базируются преимущественно на процессах термического разложения исходных компонентов и химического взаимодействия в рамках окислительных реакций горения. Химически связанная энергия ТКО, при этом, превращается либо в энтальпию веществ, используемых в качестве рабочих тел или теплоносителей теплоэнергетических установок (ТЭУ), либо в жидкие и газообразные горючие вещества – синтетические топлива для ТЭУ. В данной работе рассматривается возможность применения физико-химических, т.е. термических способов переработки отходов, исходя из особенностей их морфологического состава.

На практике широко применяются следующие методы термической утилизации твердых бытовых отходов:

- слоевое или камерное сжигание в мусоросжигательных печах и топках мусоросжигательных котлов;
- низкотемпературное термическое разложение при ограниченном доступе кислорода – пиролиз, с образованием горючего синтез-газа в пиролизных печах и слоевых газификаторах;
- высокотемпературное термическое разложение в потоке высоко- или низкотемпературной плазмы с образованием горючего синтез-газа в плазменных газификаторах.

В мировой практике широкое распространение получили технологии слоевого сжигания несортированных отходов мусорных свалок на подвижных колосниковых решетках в топках энергетических котлов. Вопросы, связанные с разработкой теории и технологических решений, применительно к отечественной энергетике, подробно рассмотрены в [6].

Вместе с тем, проектное предложение реализации данной технологии в условиях Калининградской области, внесенное в 2019 году в качестве пилотного проекта не получило практического продолжения в силу технической сложности, зависимости от импорта технологий и высокой стоимости проекта.

Существенным недостатком процессов непосредственного сжигания и низкотемпературной газификации ТКО является образование широкого спектра вредных веществ в составе газообразных продуктов термического разложения, подлежащих улавливанию и утилизации.

Принципиально данного недостатка лишена технология высокотемпературной газификации, в том числе с применением плазменных технологий. Технологии генераторов газовой плазмы в нашей стране разрабатываются в течение продолжительного времени, но практическое применение их в процессах термической утилизации отходов и вредных веществ началось сравнительно недавно. Наиболее интересные теоретические и экспериментальные исследования выполнены в институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, институте тепло- и массообмена НАН Беларуси, Алматинском институте проблем горения и казахском научно-исследовательском институте экспериментальной и теоретической физики, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана» [7, 8, 9].

Теоретическое моделирование процессов плазменной газификации твердых бытовых отходов (ТБО) усредненного состава, аналогичному исследуемому на региональных полигонах, выполненное с применением отечественного программного комплекса «Терра» и хорошо согласующиеся с данными натурального эксперимента, представлены в работе [10].

При выполнении термодинамического анализа плазменной газификации твердых бытовых отходов методом численного моделирования установлены закономерности изменения концентраций компонентов газовой и конденсированной фаз продуктов разложения от температуры процесса, как воздушной, так и паровой газификации ТБО (рисунок 3, 4).

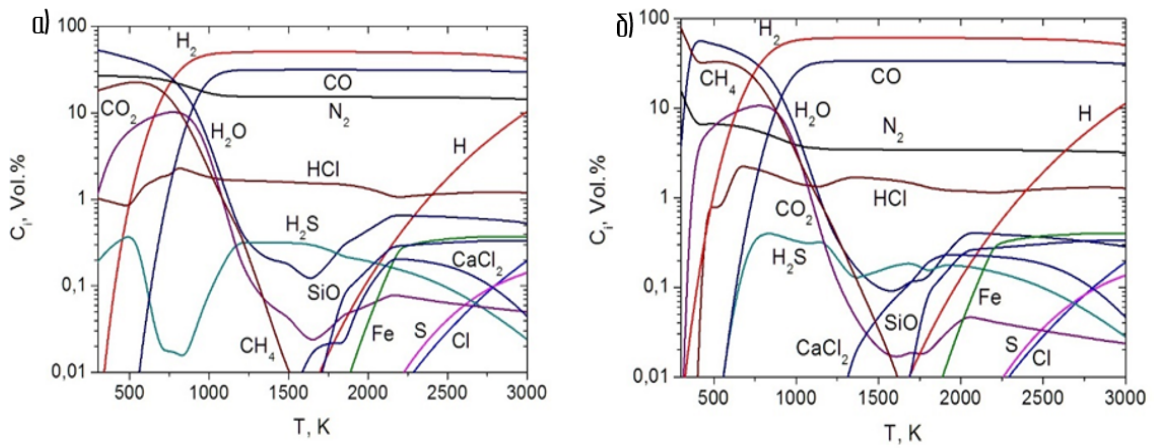


Рисунок 3 - Изменение концентраций компонентов газовой фазы в зависимости от температуры процесса воздушной (а) и паровой (б) газификации ТБО усредненного состава

Термодинамические расчеты показывают, что максимальный выход синтез-газа при плазменной газификации углеродсодержащих отходов в воздушной и паровой средах достигается при температуре 1600К. При этом в условиях воздушно-плазменной газификации ТБО может быть получен высококалорийный синтез-газ с концентрацией 82.4% (CO –31.7%, H₂–50.7%), а при паро-плазменной газификации - с концентрацией 94.5% (CO –33.6%, H₂–60.9%). Удельная теплота сгорания синтез-газа, полученного при воздушной газификации, составляет 14832 кДж/кг, а при паровой – 21243 кДж/кг.

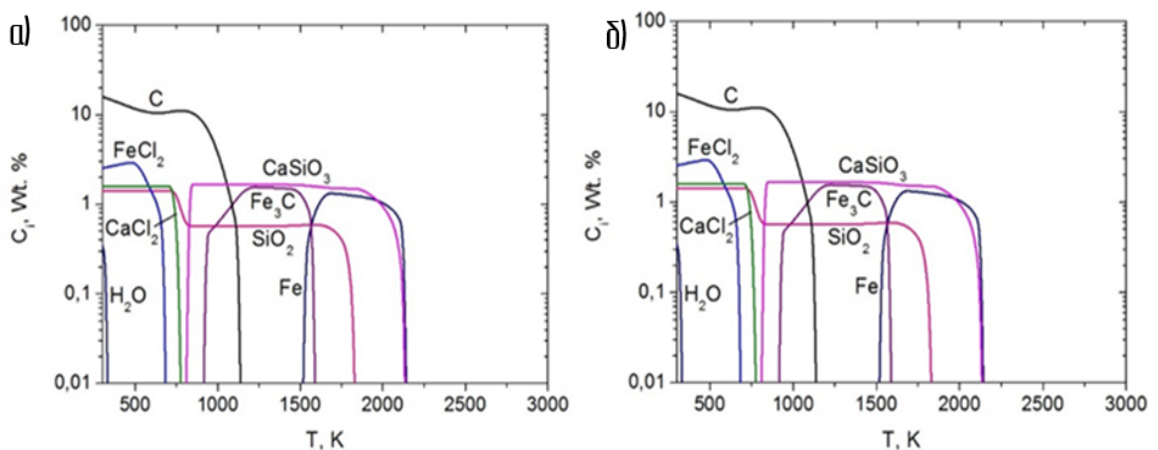


Рисунок 4 - Изменение концентраций компонентов конденсированной фазы в зависимости от температуры процесса воздушной (а) и паровой (б) газификации ТБО

Из рисунка 4 видно, что в обоих случаях углерод полностью переходит в газовую фазу при температуре выше 1250 К, образуя в газовой фазе СО (рисунок 3). Тем самым обеспечивается стопроцентная газификация углерода.

Практически важным результатом данного исследования является оценка величины удельных затрат электроэнергии на процесс газификации: на воздушную газификацию 1 кг ТБО затрачивается 1,92 кВт ч, на паровую газификацию – 2,44 кВт ч/кг. При этом в первом случае из 1 кг ТБО образуется 1,16 кг горючего газа, а во втором – 0,87 кг чистого синтез-газа. Таким образом технологические энергозатраты в процессах плазменной газификации составляют от 40,1% , при воздушной газификации, до 47,5% теплотворной способности синтез-газа при паровой газификации, что позволяет рассматривать плазменную газификацию как энергоэффективную составляющую технологического процесса ТЭС.

Типовая схема технологической линии для плазменной переработки ТКО включает в себя плазменный реактор, систему загрузки отходов, сервисные системы обеспечения работоспособности электродугового плазмотрона, систему очистки отходящих газов в скруббере, элементы ТЭУ для получения тепловой и электрической энергии (рисунок 5).

Несортированные ТКО региональных полигонов технически сложно перерабатывать в существующих реакторных установках, для эффективной работы которых требуется мелкодисперсная структура обрабатываемого сырья. Для этих целей необходима разработка системы подготовки отходов к термической переработке. В настоящее время с участием ряда ведущих научных организаций и промышленных предприятий (ИТ СО РАН, ИТПМ СО РАН, ИВТ СО РАН, ИЭОПП СО РАН, ФГУП «ЖКХ ННЦ», ФГУП "УЭВ", АО «ГСПИ» (Новосибирский филиал), ООО Спецзавод «Квант», ОАО «СКБ Сибэлектротерм», ООО «СКБ Сибэлектротерм», АО «Гормашэкспорт») ведутся работы по созданию роботизированных линий автоматизированной сортировки на основе распознавания образов с отбором полимеров и пластика, содержащих оборудование: ленточный конвейер, пункт приема ТКО,

первичной сортировки, узлы сортировки, оптические датчики и манипуляторы, АСУТП, электронику и программное обеспечение.

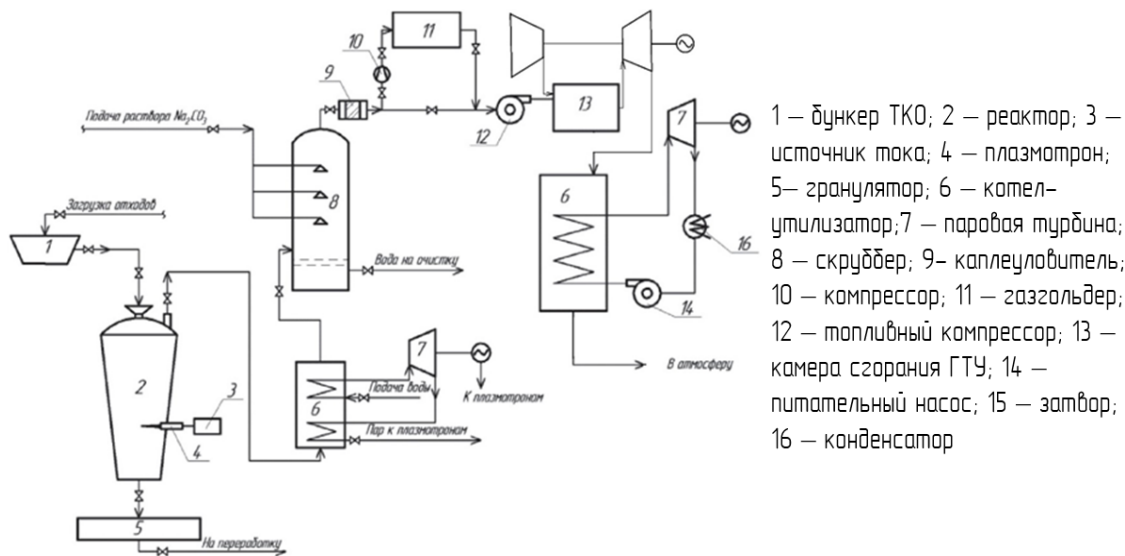


Рисунок 5 - Схема линии пароплазменной газификации ТКО

Однако существующие технологии машинной сортировки не брикетированных отходов с использованием методов гравитационно-инерционной аэросепарации в полной мере применим для решения рассматриваемой задачи. Технологическая схема подготовки ТКО к газификации, разработанная в КГТУ [11], приведена на рисунке 6.

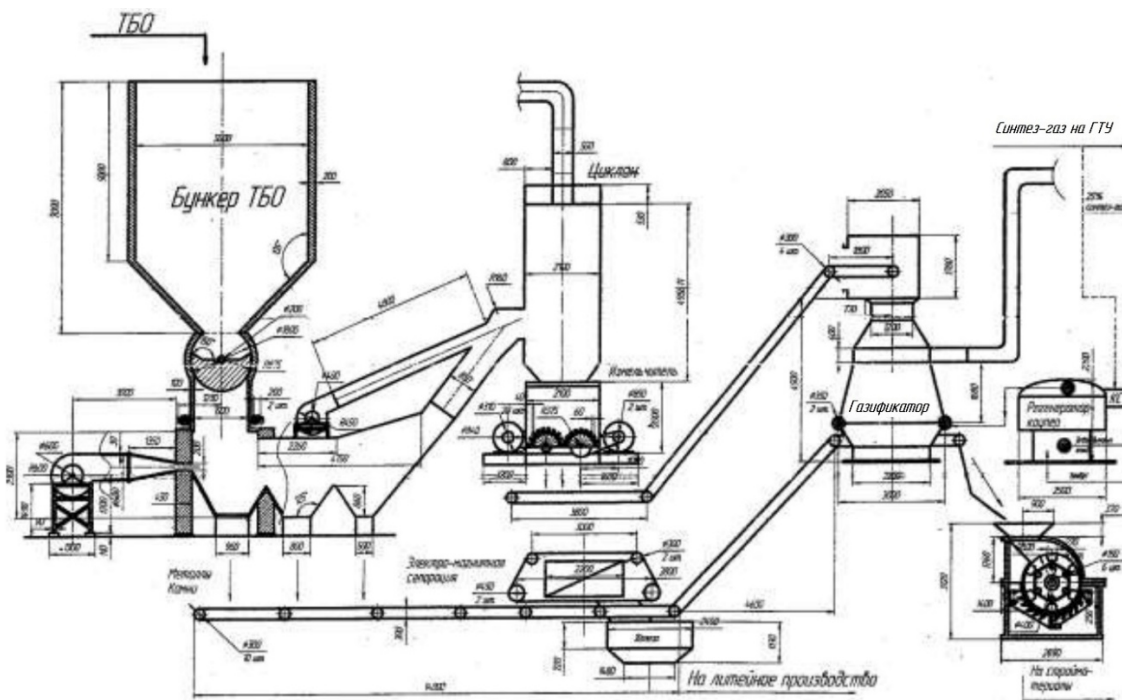


Рисунок 6 - Технологическая схема подготовки ТКО к газификации

В представленных схемах установка плазменной утилизации используется для производства синтез-газа, который используется в качестве топлива для ПГУ, вырабатывающей электроэнергию. В состав установки может входить плазменно-реакторный комплекс, разработчиками и производителями которого в РФ являются ИТ СО РАН, «ЭПОС-ИНЖИНИРИНГ» и «PLAZARIUM». Для целей проведения расчёта достижимой мощности в качестве базового был выбран газификатор фирмы «PLAZARIUM» - «PLAZARIUM-MGS» [12]. Его основные технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – основные технические характеристики газификатора «PLAZARIUM-MGS»

Тип сырья:	Твёрдое, жидкое
Объём производства синтез-газа на 1 кг отходов	От 1,1 до 4,8 нм ³
Минимальная производительность	От 50 до 1000 кг в час
Рабочая температура в камере плазменного реактора	От 1600 до 2500 °С
Базовый агент газификации	Пар воды
Изменение концентраций СО, N ₂	0 – 50 %
Изменение концентраций Н ₂	0 – 80%
Изменение концентраций СО ₂ , О ₂	0 – 21%

Электростанцию класса ТЭС на ТКО необходимо размещать в непосредственной близости источника топливного ресурса в целях снижения эксплуатационных транспортных расходов. В данной работе в качестве пилотного объекта-источника ТКО рассматривается полигон в посёлке Жаворонково. Согласно данным [13], объём отходов, поступающих на данный полигон, составляет 116043 тонн/год.

Площадка для сооружения ТЭС должна удовлетворять ряду требований, основными из которых являются:

- достаточность площади для размещения всех сооружений электростанции;
- непосредственная близость к полигону ТКО;
- рельеф местности, удовлетворяющий требованиям норм технологического проектирования тепловых электростанций;
- земли должны быть не сельскохозяйственного назначения.

На основании перечисленных требований выбрана площадка непосредственно рядом с полигоном (рисунок 7). Рядом с полигоном проходит воздушная линия 110 кВ, в расщелку которой в последствии может быть подключена электростанция.



Рисунок 7 – Расположение площадки под строительство ТЭС

Основу теплоэнергетической установки проектируемой ТЭС на ТКО составляет парогазовый блок (ПГУ) на ГТУ отечественного производства с прогнозируемым эффективным электрическим КПД не ниже 48%.

На начальном этапе решения проектной задачи были выполнены расчеты комплекса для газификации ТКО в объеме 116 000 т/год. В комплексе газификации предлагается установка двух технологических линий, обеспечивающих работу ТЭУ на базе серийно выпускаемых газотурбинных двигателей отечественного производства.

Для оценки возможных диапазонов прогнозируемых значений достижимой мощности ТЭУ, принимаем значение КПД ГТУ для расчетных эксплуатационных диапазонов эффективной мощности (N_e) согласно таблице 2.

Таблица 2 – ориентировочные КПД ГТУ для диапазонов эффективной мощности N_e

N_e , кВт	η_e , %
4000-6000	0,3-0,33
6000-12000	0,34-0,36
16000-32000	0,36-0,38
> 32000	0,37-0,4

Газификация органической части ТКО осуществляется в шахтной плазменной электропечи – газификаторе. Производительность одного газификатора – 4 т/ч. Мощность единичного плазмотрона для нагрева водяного пара – 1,5 МВт. Мощность 4-х плазмотронов для газификатора – 6,0 МВт. Объем полученного синтез-газа из газификатора – 8091 кг/ч.

Располагаемая энергия первичного энергоресурса (синтез-газа) определяется процесса паровой газификации:

$$Q_{1\text{кДж/кг}} = V_T \cdot Q_H^P \quad (1)$$

где, V_T – расход синтез-газа в качестве топлива, кг/час

Q_H^P – низшая теплота сгорания синтез – газа, кДж/кг

$$Q_1 = 8091 \cdot 21200 = 171529200 \text{ кДж/ч}$$

или

$$Q_1 = 47,65 \text{ МВт}$$

Оценка достижимых значений эффективной мощности первичного теплового двигателя в составе ПГУ выполняется с учетом заявленных производителями паспортных показателей топливной экономичности ГТУ:

$$N_e = \eta_e \cdot Q_1 \quad (2)$$

Для расчёта максимально достижимой эффективной мощности примем среднее значение из таблицы 2 $\eta_e = 0,39$, для минимально достижимой принимаем $\eta_e = 0,315$, тогда:

максимально возможная эффективная мощность

$$N_e = 0,39 \cdot 47,65 = 18,58 \text{ МВт}$$

минимально возможная эффективная мощность

$$N_e = 0,33 \cdot 47,65 = 15 \text{ МВт}$$

С учётом нормативных требований в части резервирования генерирующих мощностей принимаем число генерирующих установок не менее 2. Тогда единичная мощность ГТУ будет находиться в диапазоне от 7,5 до 9,3 МВт. Для установок такой единичной мощности КПД согласно таблице 3 соответствует значению 35%.

Уточняем предельно достижимой эффективной мощности по формуле:

$$N_e = \eta_e \cdot (Q_1/2) \quad (3)$$

где, $Q_1/2$ – энергия первичного ресурса, приходящаяся на одну установку.

$$N_e = 0,35 \cdot (47,65/2) = 8,34 \text{ МВт}$$

Согласно действующим стандартам типоразмеров мощности ГТУ целесообразно принять для целей дальнейших расчётов ГТУ мощностью 10 МВт из серийно выпускаемого ряда энергетического оборудования [14]. Принимаем в качестве прототипа вариант газотурбинного двигателя модельного ряда конвертированных авиационных двигателей семейства НК третьего поколения НК-14Э производства «Объединенной двигателестроительной корпорации» (ОДК). Основные технические характеристики этого двигателя приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики ГТД НК-14Э

Параметр	Значение параметра
Марка прототипа	НК-12МВ
Год выпуска	2000
Мощность, МВт	10

Продолжение таблицы 3

Температура газа за КС, К	1330
Температура на выходе, К	800
Расход топлива, кг/с	38,3
Степень сжатия в компрессоре	10,8
Частота вращения вала СТ, об/мин	3000
КПД, %	33

Для обоснования возможности использования синтез-газа заданного состава в качестве топлива для ГТУ выбранного класса выполним термодинамический расчёт рабочего процесса с использованием программ расчётного сервера МЭИ [15]. Некоторые результаты поверочного термодинамического расчёта приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты поверочного расчёта ГТУ

Теплота, подведённая в ГТУ	25,9 МВт
Мощность компрессора	9,06 МВт
Мощность ТК	0,226 МВт
Мощность электрогенератора ГТУ	8,38 МВт
Электрический КПД ГТУ	32,3 %

На рисунке 8 приведена балансовая диаграмма энергетических потоков теплового двигателя принятого в качестве привода электрогенератора, ГТД НК-14Э, полученная на основании паспортных и расчётных характеристик рассматриваемого двигателя.



Рисунок 8 – Балансовая схема энергетических потоков теплового двигателя

Как видно из рисунка 8, значительная часть первичной энергии, которая может быть использована, отводится в окружающую среду. На современном этапе развития стационарной и транспортной энергетики наиболее эффективное использование вторичных тепловых потоков тепловых двигателей может быть осуществлено с использованием бинарных термодинамических циклов ТЭУ комбинированного тепла. Для газотурбинной установки такая комбинация возможна в первую очередь с паротурбинной установкой путём реализации парогазового цикла. Схема данной установки приведена на рисунке 9, а результаты теплового расчёта, выполненного с использованием программ расчетного сервера МЭИ для проектируемой установки, представлены в таблице 5. Количество ПГУ в составе ТЭС на ТКО принято равное двум.

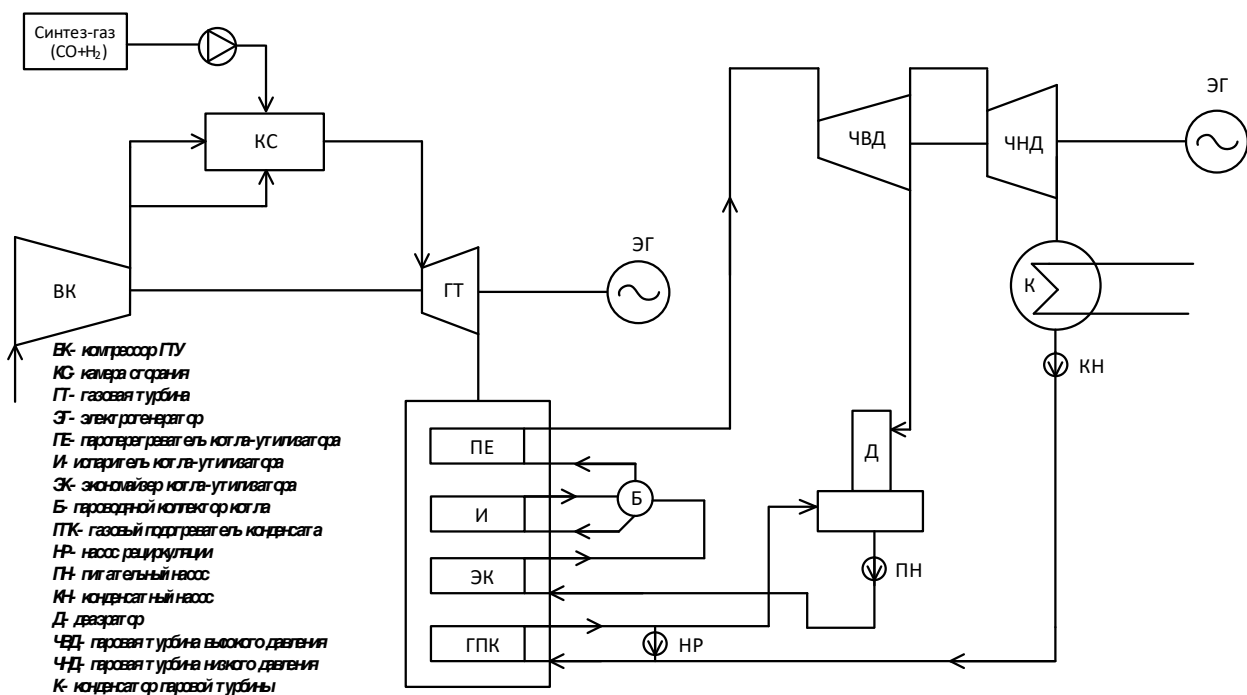


Рисунок 9 – Схема ПГУ на базе ГТД НК-14Э

Таблица 5 – Результаты расчёта ПГУ

Параметр	Значение
Электрическая мощность ПТУ	4,13 МВт
Электрическая мощность ПГУ	12,5 МВт
Теплота, подведённая в ПГУ	25,9 МВт
Электрический КПД ПГУ	48,4 %

Таким образом с использованием ПГУ рассчитанного типоразмера при работе 2 модулей плазменного газификатора на базе полигона твёрдых бытовых отходов в посёлке Жаворонково может быть обеспечена выработка электроэнергии во внешние сети до 20 МВт с учетом затрат энергии на собственные технологические нужды, включая плазменную газификацию ТКО.

Важным практическим результатом данного исследования является вывод о возможности технологической реализации высокотемпературной газификации ТКО не только в потоке низкотемпературной воздушной или паровой плазмы, но и в потоке сверхперегретого пара, генерируемого в цикле

ПГУ в кислородно-водородных пароперегревателях. Теоретические предпосылки для разработки подобной технологии существуют.

Список литературы

1. Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.11.2009г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»// «РГ»-Федеральный выпуск, № 5050, 27.11.2009.

2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 14 августа 2013 г. № 298 "Об утверждении комплексной стратегии обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в РФ". Текст: электронный - URL: <https://docs.cntd.ru/document/499041934>. Режим доступа: по подписке.

3. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года от 25 января 2018 г. № 84-р Текст: электронный - URL: <https://docs.cntd.ru/document/556353696>.

4. Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры городского округа "Город Калининград" на период до 2035 года включительно 2 этап Обосновывающие материалы Книга 2 г. Москва, 2017 год. Текст: электронный. - URL: https://www.klgd.ru/activity/construction/gr_documents/proekt-programmy-kommunalnoy-infrastruktury.php

5. Юрков, С. В. К вопросу о нормируемых показателях энергетической эффективности ТЭС на ТБО / С. В. Юрков // Балтийский морской форум : материалы VI Международного Балтийского морского форума, в 6 томах, Калининград, 03–06 сентября 2018 года. Том 2. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2018. – С. 352-359.

6. Тугов А.Н. Энергетическая утилизация твердых коммунальных отходов на ТЭС: монография. М.: ВТИ, 2017.

7. Моссэ А.Л. Плазменные технологии и устройства для переработки отходов / А.Л.Моссэ, В.В.Савчин; НАН Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова. - Минск: Беларуская навука, 2015. - 411 с.: ил. - Библиогр.: с.395-407. - ISBN 978-985-08-1856-0. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/350969/reading> (дата обращения: 19.02.2025). - Текст: электронный.

8. Переелавцев, А. В. Плазменная переработка отходов: монография / А. В. Переелавцев. С. А. Вошинин, А. В. Артемов; под общ. ред. А. В. Переславцева. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. - 436 с. - ISBN 978-5-9729-1506-4. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2096896> (дата обращения: 19.02.2025). – Режим доступа: по подписке.

9. Zukov M.F., Zasyrkin I.M. Thermal plasma torches. Design, Characteristics. Applications. – Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2007. – 593 p.

10. Плазменная газификация твердых бытовых отходов [[Электронный ресурс]]: дис. д-ра философии (PhD): 6D072300 – Техническая физика / Р. В. Баймулдин; науч. консультанты: В. Е. Мессерле, З. Янковски ; КазНУ им. аль-Фараби. – Алматы: [б. и.], 2019. – электрон. текстовые дан., 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

11. Селин, В. В. Теоретические и прикладные аспекты распределенной энергетики Калининградской области на базе местных и возобновляемых топливно-энергетических ресурсов. Примеры разработки инновационных теплоэнергетических технологий и установок / В. В. Селин, С. В. Юрков, Е. А. Беркова // Балтийский морской форум : материалы VI Международного Балтийского морского форума, в 6 томах, Калининград, 03–06 сентября 2018 года. Том 2. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2018. – С. 331-344.

12. Плазменная газификация отходов с использованием пароводяной плазмы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.plazarium.ru/developments/industrialplasma-torches/plazarium-tps/> (дата обращения 10.10.23).

13. Региональная программа области обращения с отходами, в том числе твердыми коммунальными отходами, на территории Калининградской области от 22 июня 2018 года.

14. АО «Объединённая двигателестроительная корпорация»
Официальный сайт: <https://www.uecrus.com/>. URL:
<https://www.uecrus.com/products-and-services/products/>.

15. Расчётный сервер НИУ МЭИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://twi.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/index.html (дата обращения: 20.09.2025)

References

1. Federal Law No. 261-FZ of 23.11.2009 "On Energy Saving and Improving Energy Efficiency, and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation" // "RG" - Federal Issue, No. 5050, 27.11.2009.

2. Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of August 14, 2013, No. 298 "On Approval of a Comprehensive Strategy for Solid Municipal (Household) Waste Management in the Russian Federation". Text: electronic - URL: <https://docs.cntd.ru/document/499041934>. Access mode: by subscription.

3. Strategy for the development of the industry for the processing, recycling and disposal of production and consumption waste for the period up to 2030 dated January 25, 2018, No. 84-r Text: electronic - URL: <https://docs.cntd.ru/document/556353696>.

4. Program for the integrated development of public utility infrastructure systems of the urban district "City of Kaliningrad" for the period up to 2035 inclusive, stage 2 Justifying materials Book 2 Moscow, 2017. Text: electronic. -

URL: https://www.klgd.ru/activity/construction/gr_documents/proekt-programmy-kommunalnoy-infrastruktury.php

5. Yurkov, S. V. On the issue of standardized indicators of energy efficiency of thermal power plants on MSW / S. V. Yurkov // Baltic Maritime Forum: materials of the VI International Baltic Maritime Forum, in 6 volumes, Kaliningrad, September 3-6, 2018. Volume 2. - Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University, 2018. - P. 352-359.

6. Tugov A. N. Energy utilization of solid municipal waste at thermal power plants: monograph. Moscow: VTI, 2017.

7. Mosse A. L. Plasma technologies and devices for waste processing / A. L. Mosse, V. V. Savchin; NAS of Belarus, A.V.Lykov Institute of Heat and Mass Transfer. - Minsk: Belarusian Science, 2015. - 411 p.: ill. - Bibliography: pp. 395-407. - ISBN 978-985-08-1856-0. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/350969/reading> (accessed: 19.02.2025). - Text: electronic.

8. Pereelavtsev, A. V. Plasma processing of waste: monograph / A. V. Pereelavtsev. S. A. Voshchinin, A. V. Artemov; under the general editorship of A. V. Pereslavtsev. - Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2023. - 436 p. - ISBN 978-5-9729-1506-4. - Text: electronic. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2096896> (date of access: 19.02.2025). – Access mode: by subscription.

9. Zukov M.F., Zasytkin I.M. Thermal plasma torches. Design, Characteristics. Applications. – Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2007. – 593 p.

10. Plasma gasification of municipal solid waste [[Electronic resource]]: dis. Doctor of Philosophy (PhD): 6D072300 – Technical physics / R. V. Baimuldin;

scientific consultants: V. E. Messerle, Z. Jankowski; KazNU named after al-Farabi.
– Almaty: [b. i.], 2019. – electronic. text data, 1 electronic optical disc (CD-ROM).

11. Selin, V. V. Theoretical and applied aspects of distributed energy in the Kaliningrad region based on local and renewable fuel and energy resources. Examples of the development of innovative heat and power technologies and installations / V. V. Selin, S. V. Yurkov, E. A. Berkova // Baltic Maritime Forum: materials of the VI International Baltic Maritime Forum, in 6 volumes, Kaliningrad, September 3–6, 2018. Volume 2. – Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University, 2018. – P. 331–344.

12. Plasma gasification of waste using steam-water plasma. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.plazarium.ru/developments/industrialplasma-torches/plazarium-tps/> (date of access 10.10.23).

13. Regional program of waste management, including municipal solid waste, in the Kaliningrad region dated June 22, 2018.

14. JSC "United Engine Corporation" Official website: <https://www.uecrus.com/>. URL: <https://www.uecrus.com/products-and-services/products/>.

15. Settlement server of the National Research University MPEI [Electronic resource]. - Access mode: http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/index.html (date of access: 20.09.2025)