

УДК: 674.08

**Бурмистрова Дарья Денисовна** аспирант  
ФГБОУ ВО Ухтинский государственный технический университет

**Помигуев Александр Владимирович** преподаватель  
Федеральное государственное казенное военное образовательное  
учреждение ВПО Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина»

## **ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ**

Аннотация: В статье предлагается техническое решение по получению тепловой и электрической энергии в установках газификации.

Ключевые слова: тепловая энергия, лесные терминалы, газогенератор

Burmistrova Daria Denisovna post-graduate student  
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
Ukhta State Technical University

Pomiguev Alexander Vladimirovich lecturer  
Federal State State Military Educational Institution VPO Military Educational  
and Scientific Center of the Air Force  
“Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”

## **SUBSTANTIATION OF THE OPTIMAL SYSTEM OF CONVERSION OF THERMAL ENERGY INTO ELECTRICITY**

Abstract: The article proposes a technical solution for obtaining thermal and electrical energy in gasification installations.

Keywords: thermal energy, timber terminals, gas generator

Предлагается техническое решение по получению тепловой и электрической энергии в установках газификации, оборудованных термоэмиссионными и термоэлектрическими элементами, вырабатывающими электрическую энергию. Источником энергии являются отходы основного производства лесных терминалов и порубочные остатки (кроновая часть деревьев). Функционально-технологическая схема решения представлена на рисунках 1 и 2.

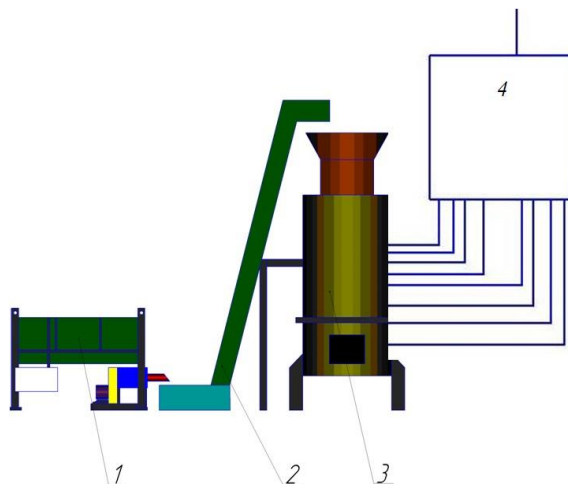


Рисунок 1 – Функционально-технологическая схема установки прямого преобразования тепловой энергии в электрическую:

1 – узел подготовки топлива, 2 – транспортер, 3 – комплекс энергогенерирующий, 4 – узел аккумулирования и распределения электроэнергии.

По фактору надежности предлагаемая система имеет явное преимущество перед применяемой в настоящее время. В предлагаемой системе отсутствуют элементы механического движения.

Что же касается проблем с топливом, то в предлагаемом варианте установки процесс газификации может осуществляться в любых температурно-климатических условиях, для любой географической координаты на Земле. Определенным преимуществом работы газогенератора является осуществление рабочего процесса в реакторе в режиме самосогласования. Это означает, что основной параметр (температура) в реакторе поддерживается на определенном уровне без вероятности перехода к нештатным режимам.

На рисунке 2 показано предложенное техническое решение по получению тепловой и электрической энергии в установках газификации, оборудованных термоэмиссионными и термоэлектрическими элементами, вырабатывающими электрическую энергию. Источником энергии являются отходы основного производства лесных терминалов и порубочные остатки (кроновая часть деревьев).

Постоянство электрической нагрузки обеспечивается системой коммутации, работающей в режиме электронного ключа, обеспечивающего при отключении нагрузки потребителя автоматическое подключение эквивалентной нагрузки. Классическое использование в системе обратной связи балластного сопротивления принципиально решает эту задачу, но при этом снижается КПД преобразователя. Кроме того, поскольку предполагается переход к системе прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, то необходимо разработать систему управления потоком термоэмиссии электронов из твёрдого электрода. Базовой основой метода должно стать устранение барьерного слоя из эмиттирующих электронов. Решение второго аспекта проблемы – снижение энергии выхода электрона из твердого электрода также представляется одной из главных проблем.

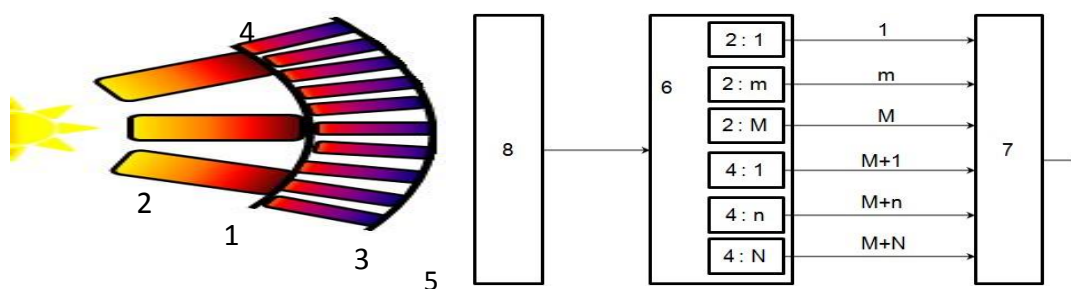


Рисунок 2 – Комплекс энергогенерирующий:

- 1 – стенка цилиндрической части рабочей камеры реактора газификации,
- 2 – термоэмиссионный элемент, 3 – козух, 4 – термоэлектрический элемент,
- 5 – очаг тепла, 6 – реактор газификации, 7 – коммутатор токов и напряжений,
- 8 – блок подготовки топлива

Проблема прямого преобразования теплоты в электричество давно является одной из главных задач современной энергетики. Классическая

технологическая цепочка преобразования химической энергии топлива в электричество громоздкая и не вполне эффективна. На рисунке 3 приведена схема технологии производства тепловой и электрической энергии на теплоэлектростанции (ТЭЦ).

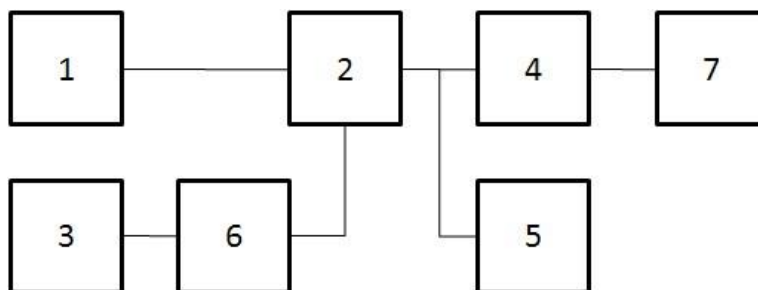


Рисунок 3 – Классическая схема технологии получения тепловой и электрической энергии на ТЭЦ:

1 – газораспределительная станция; 2 – котельный цех; 3 – химводоочистки; 4 – турбинный цех; 5 – тепловой отбор для системы тепло; 6 – деаэратр; 7 – электролизный цех (кислородно-водородное производство)

Современная ТЭЦ в составе которой имеются современные газотурбинные установки работают с КПД до 45 %. Однако удельный вес оборудования на 1 кВт вырабатываемой мощности тока и затраты на эксплуатацию относительно высоки.

Но основная задача заключается в повышении надёжности работы энергоустановок, а также поиск путей снижения удельного веса оборудования на 1 кВт выработанной мощности.

Первая задача может быть решена путём замены сложных механических систем новыми структурными элементами без механических преобразователей. Наиболее перспективным научным направлением следует признать исследования, связанные с исследованием термоэлектрических [1-4] и термоэмиссионных свойств материалов [113-114]. Одним из основных элементов системы генерации электрической энергии должен быть, прежде всего, надёжный и безопасный источник тепловой энергии, обеспеченный в достаточном количестве и по этому признаку, относящийся к возобновляемым.

В качестве химического источника топлива предполагается использовать генераторный газ – продукт термического разложения

топливных брикетов, формируемых методом прессования из отходов производств лесозаготовок и деревообработки.

Сформированный по предлагаемой технологии топливный брикет не подвержен деструкции. Брикеты не способны к самовоспламенению. Они могут храниться на открытом воздухе и не взрывоопасны. Средняя себестоимость производства 1,5 руб за 1 кг.

Энергетическая возможность 1 кг топлива составляет 1,2 кВт/час электрической энергии. Выработка тепловой энергии составит -50МД (50 МДж). Выбор газогенератора в качестве источника тепловой энергии предпочтителен по трём основным признакам:

1. Доступность на лесном терминале и низкая себестоимость.
2. Безотказность его хранения и переработки.
3. Высокая степень экологичности производства тепловой энергии.

Производство газогенераторных установок мощностью от 50 до 300 кВт может быть организовано на любом предприятии машиностроения, на среднем уровне сложности механического процесса. Общий вид и основные элементы газогенератора представлены на рисунке 4.

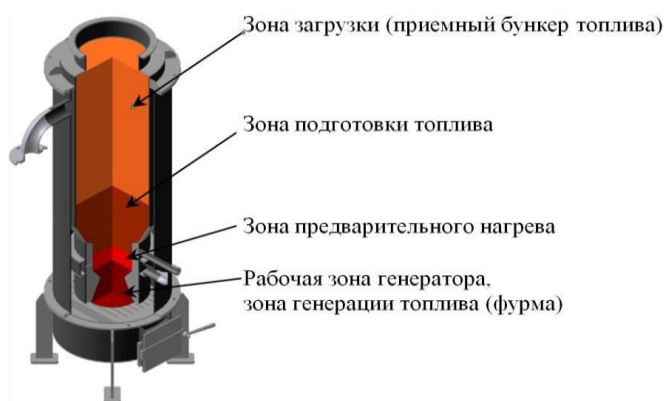


Рисунок 4 – Термокамера газогенератора обращенного типа и основные узлы его конструкции

Схема основных процессов, протекающих в реакторе газогенератора:

1. Процесс прямого окисления топлива:  $C + O_2 = CO_2$

Роль этого процесса является определяющей характер и направление других процессов термического разложения топлива. При усреднённой

теплотворной способности твёрдого углеводородного топлива эти затраты составляют 15-20% от общего (исходного) объёма топлива.



Процесс восстановления диоксида углерода возможен только в генераторах обращенного типа. За счёт этого процесса значительно снижаются выбросы в атмосферу углекислого газа (уменьшение влияния «парникового» эффекта). Но при этом в составе генераторного газа повышается концентрация СО (монооксид углерода) сильный токсин. Для этого должны быть предусмотрены дополнительные меры безопасности. В число таких мер входят датчики наличия СО в газогенераторном секторе помещения. Наличие аварийной и предупредительной сигнализации, а также принудительное отключение газогенератора при аварийной ситуации – обязательное условие для осуществления его работы.

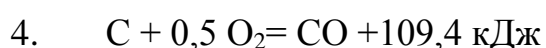
Наиболее важным узлом газогенератора является фурменный пояс (фурма). В зоне фурменного пояса реализуются основные реакции.

Согласно правилу Вант-Гоффа, увеличение температуры в зоне реакции повышает скорость химического процесса и поэтому фактически возрастает эффективность разложения топлива на горючие газы. При этом в условиях высоких температур легко окисляются некоторые токсины (например, диоксины). Поэтому для материала фурмы используют дорогие, жаропрочные материалы (сплавы). Общий вид конструкции фурменного пояса генератора обращенного типа приведён на рисунке 5.



Протекание этой реакции, по существу, снижает КПД работы газогенератора, поэтому конструктивными приёмами стараются ограничивать приток кислорода в реактор газогенератора, т.е. осуществлять его работу при малом разряжении относительно атмосферного давления.

Это условие обеспечивает большую безопасность при работе газогенераторной установки.



Именно за счёт этого процесса осуществляется основной компонент (СО) комбинированного генераторного газа.

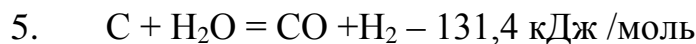


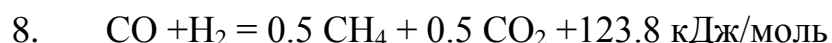
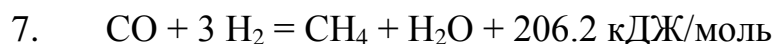
Рисунок 5 – Общий вид рабочей конструкции фурменного пояса

Протекание этой реакции резко увеличивает энергозатраты на осуществление этого процесса, поскольку речь идёт о разрыве связей ионов в молекуле воды. Однако в процессе такого преобразования в правой части образуется новый компонент топливного газа – водород, который даёт возможность повысить его теплотворную способность при одновременном снижении вредных выбросов в атмосферу.



Осуществление влияния реакции по этой схеме позволяет получить в составе генераторного газа третий компонент с высоким показателем энергетики.

Но, образование метана в газогенераторе возможно и по другим механизмам.



Принимая во внимание, что процесс газогенерации осуществляется в режиме самосогласования, а его течение в известном виде зависят от характера изменения температуры, то представляет практический интерес проведение исследований по изучению возможности управления такими процессами. Задача не простая, но её решение позволит стабилизировать компонентный

состав генераторного газа, а следовательно, обеспечит более высокий КПД энергоустановки.

Высказано предположение и приведены экспериментальные результаты по управлению процессом горения с помощью воздействия электростатическим полем. Действительно, фазовое состояние молекул топливных газов можно представить как аналог низкотемпературной плазмы при относительно малой степени разряжения. А направленность их перемещения под действием электрического поля в этом случае объясняется процессами адсорбции нейтральных молекул с полярными молекулами воды, находящимися в парообразном состоянии (псевдогазообразное). Апробация такого эксперимента позволит установить отклонение температур в отдельных зонах на десятки градусов Цельсия при средней температуре в реакционной зоне +1200 – 1250 С. Таким образом, принцип управления полем температур вполне имеет право на своё существование и может быть использован для практики энергетических производств.

Основным достоинством предлагаемой методики является переход от механических систем преобразования энергии к преобразованию с помощью полей различной природы. Таким образом можно считать, что в составе генераторного газа содержатся три основные энергетические компоненты: моноокись углерода (СО), метан (СН<sub>4</sub>) и водород (Н<sub>2</sub>). Более тщательный анализ состава газа показал наличие воды и ацетилена.

Анализ показателей таблицы 1 показывает, что повышение эффективности работы газогенератора может быть осуществлено в направлении поиска нового состава топлива или изменения системы газогенерации. Наиболее рациональным следует считать решение задачи путем разработки новых технологических и конструктивных решений в системе газогенерации. В частности, предполагается реконструировать фурменный пояс газогенератора. В качестве материала фурменного пояса лучше всего использовать не жаропрочные металлы, а металлокерамику. Это позволит не только повысить рабочую температуру.



Форма и размеры фурменного пояса позволяют осуществить технологию методом литья в фурму. При этом решается и другая важная задача: изменение соотношения компонентов генераторного газа за счёт включения в состав керамики соединений, катализирующих реакцию газогенерации водорода.

Таблица 1 – Теплотворная способность основных компонентов генераторного газа

Компонент	% Содержания	Теплота сгорания
Водород	7	120 МДж/кг
Метан	12	55 МДж/кг
Монооксид углерода	80	10,12 МДж/кг

Форма и размеры фурменного пояса позволяют осуществить технологию методом литья в фурму. При этом решается и другая важная задача: изменение соотношения компонентов генераторного газа за счёт включения в состав керамики соединений, катализирующих реакцию газогенерации водорода.

Одной из особенностей работы генераторных установок является возможность качественной работы в условиях, изменяющихся во времени нагрузок. На рисунке 6 приведена примерная диаграмма нагрузок локальной энергоустановки.

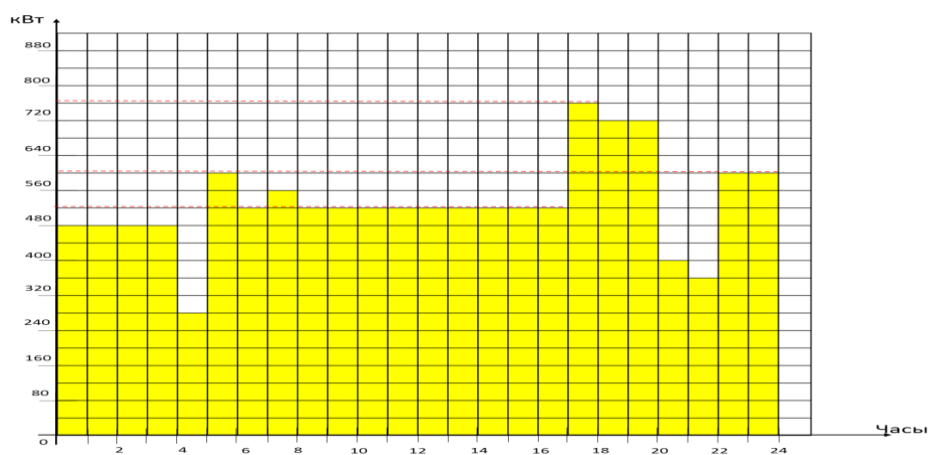


Рисунок 6 – Временная диаграмма нагрузок локальной энергоустановки

Проектируемая установленная электрическая мощность выбирается из условия переработки всех отходов производства деревоперерабатывающего предприятия (до 4т в сутки). Опытным путем нами установлено, что при переработке 4т топлива методом газогенерации может быть получено 4 МВт·час электрической и 12 Гкал тепловой энергии. В этом случае электрическая мощность комплекса должна составлять не менее 35 кВт. Генерацию большей электрической мощности могут обеспечить несколько блоков газогенерации, работающие на суммирующий ресивер-накопитель. Таким образом, объектом экономической оценки является мобильный энергогенерирующий комплекс общей тепловой мощностью 175 кВт и электрической – 35,1 кВт

Примерная масса одной энергоустановки 1200кг, расход топливных брикетов за 1 час работы при 100% загрузке –85 кг, при их теплотворной способности 17,65 МДж/кг. Стоимость 1 кг брикетов, полученных методом прессования из отходов, составляет ~0,76 р. Стоимость 1 кВт·час составляет 1,84 р. Общая стоимость установки – 371100 р. Энергоэффективность комплекса 29,25 Вт/кг.

Сравним эти данные с дизель-генератором ТСС АД-30С-Т400-1РМ19, мощностью 33 кВт, поставщик ООО «Энергопроф», стоимость 407082 р. Масса установки 750 кг, расход дизельного топлива при максимальной мощности – 8,3 л [118]. В этом случае стоимость 1 кВт·час составляет 11,57 р. при рыночной цене на дизель-топливо 46 р./л.

Таким образом, обе установки расположены в одном ценовом диапазоне. Поэтому экономический эффект будет достигнут после 1 месяца работы и составит более 4500 р.

#### **Библиографический список**

1. Самойлович А. Г. Современное состояние теории термоэлектрических и термомагнитных явлений в полупроводниках / А. Г. Самойлович, Л. Л. Коренблит // Успехи физических наук (УФН). М., 1953. Т. 49. С. 243 – 272.

2. Охотин А.С. Термоэлектрические генераторы / А.С. Охотин, А.А. Ефремов, В.С. Охотин, А.С. Пушкарский. М.: Атомиздат, 1971. 288 с.
3. Поздняков Б.С. Термоэлектрическая энергетика / Б.С. Поздняков, Е.А. Коптелов. М.: Атомиздат, 1974. 264 с.
4. Семенов В.С. Способы прямого преобразования тепловой энергии в электрическую / В.С. Семенов, А.В. Бейльман, И.В. Трифанов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. М., 2015. Т. 2. № 11. С. 124 – 126.