

УДК 621.311

**ПЕРЕДВИЖНАЯ ТЭЦ С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА
MOBILE CHP WITH STIRLING ENGINE**

А.А. Мильяненко, А.А. Жалевич

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Milyanenko, A. Zhalevich

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Изучен принцип работы двигателя Стирлинга, когенерация, применение двигателя Стирлинга на передвижных платформах.

Abstract: The principle of operation of the Stirling engine, cogeneration, and the use of the Stirling engine on mobile platforms have been studied.

Ключевые слова: двигатель Стирлинга, когенерация, Мини-ТЭЦ, чрезвычайные ситуации, передвижение.

Key words: Stirling engine, cogeneration, mini-CHP, emergency situations, movement.

Введение

В наше время происходит немало ураганов и других чрезвычайных ситуаций, из-за которых обрываются линии электропередач и прорывает трубы отопления. Вследствие чего могут пострадать обычные люди, особенно те, которые лежат в больницах, больше всего в реанимации. А на восстановление электро- и теплоснабжения может уйти немало времени, которого у некоторых может не быть. В таких ситуациях могут помочь передвижные теплоэлектроцентрали, которые будут подключаться к оборванным проводам или трубам. Данные установки смогут сильно облегчить себе жизнь людям живущих в районе, где произошло чрезвычайное происшествие, так как они смогут использовать электричество. А в случае, когда данное население живет в холодных регионах мира, они смогут получать свое временное отопление и не замерзать. Все это поможет более эффективно проводить спасательные операции во всем мире и спасти больше людей при различных бедствиях.

Основная часть

Когенерация – процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии.[1]

Стирлинг-когенерация – новая технология для комбинированного производства электроэнергии и тепла, на основе двигателей Стирлинга, при которой энергия охлаждающей воды и отработанных газов используется для нужд теплоснабжения потребителей.[2]

Двигатель Стирлинга представляет собой преобразователь энергии, относящийся к типу тепловых двигателей, совершающих механическую работу на выходном валу при подводе к ним тепловой энергии. Полезная работа в рабочем цикле Стирлинга совершается, как и в других тепловых двигателях, посредством сжатия рабочего тела при низкой температуре расширения того же рабочего тела после нагрева при более высокой температуре.[3]

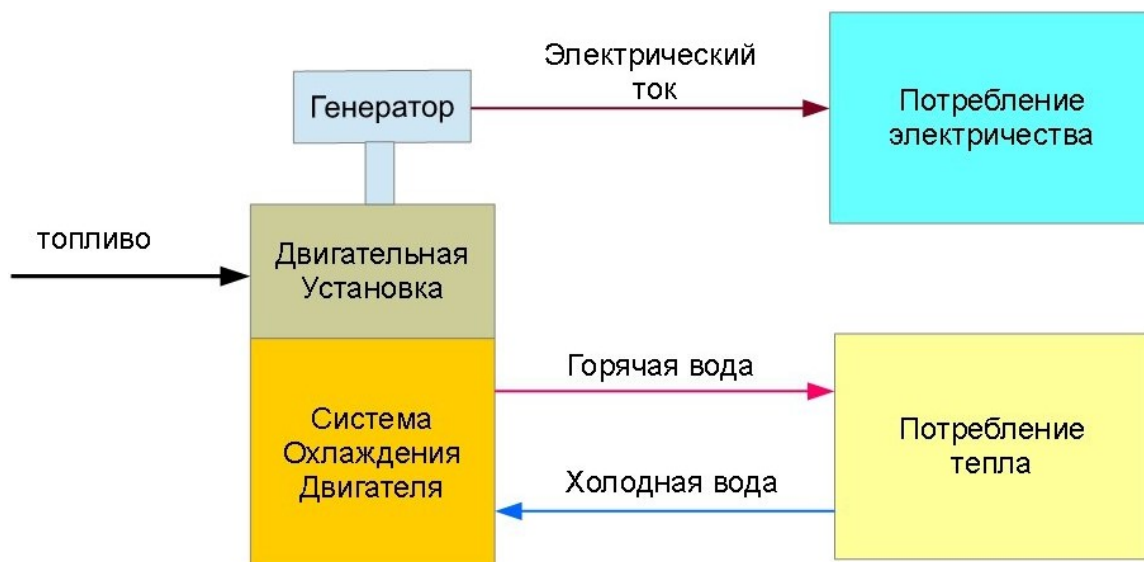


Рисунок 1 – Схема когенерации

Существует несколько типов двигателя Стирлинга. Основные:

- Альфа-Стирлинг;
- Бета-Стирлинг;
- Гамма-Стирлинг.

Мини-ТЭЦ (малая теплоэлектроцентраль) – это компактная автономная электростанция, которая производит комбинированным способом тепло и электроэнергию мощностью до 25 МВт и расположена в непосредственной близости к конечному потребителю. Может работать как в «островном» режиме, когда на объекте нет внешней энергосети, так и параллельно с основной сетью.[4]

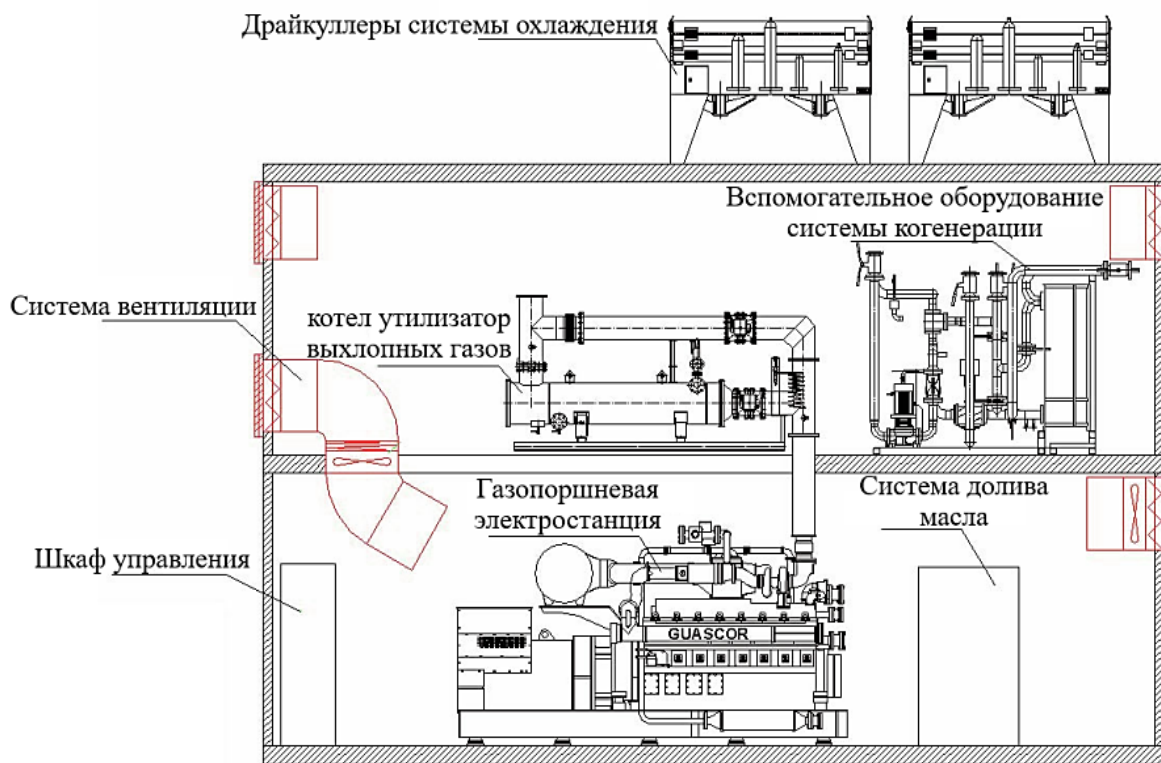


Рисунок 2 – Схема стандартной мини-ТЭЦ

К основным преимуществам мини-ТЭЦ по сравнению со стандартными схемами энергоснабжения можно отнести:

- низкую стоимость вырабатываемой электроэнергии, тепла и, соответственно, быстрый возврат инвестиций;
- повышение надежности энергоснабжения;
- независимость режима работы потребителя от режима работы энергосистем.
- Эксперты подсчитали, что при использовании мини-ТЭЦ расходы на тепло- и электроснабжение можно снизить в 3–4 раза, при этом сроки окупаемости составит всего 3–5 лет.

Существует несколько вариантов размещения мини-ТЭЦ в зависимости от требований заказчика:

- Блочно-модульное исполнение – мини-ТЭЦ со всем вспомогательным оборудованием и системами устанавливается внутри быстровозводимого компактного здания блочного типа с модульным расположением основного оборудования (ГПУ) и вспомогательных систем;
- Стационарное исполнение – мини-ТЭЦ со всем вспомогательным оборудованием и системами устанавливается внутри капитального здания;
- Передвижное исполнение – мини-ТЭЦ со всем вспомогательным оборудованием и системами устанавливается на передвижную платформу, которая при желании сможет оперативно переместиться на новое место работы.



Рисунок 3 – Пример передвижной мини-ТЭЦ

При проектировании мини-ТЭЦ должны учитываться следующие основные факторы:

- Наличие местных видов топлива. Наличие таких источников как биомасса или отходов, из которых можно получать газ, существенно снизят затраты на мини-ТЭЦ. Если таких источников нет, или невозможно их использовать, то надо выбрать вариант с меньшими транспортными затратами на доставку топлива. Мини-ТЭЦ на базе ДВС могут работать на многих видах топлива (бензин, дизельное топливо, природный газ, газох, получаемых из биомассы и органических отходах производств).
- Важным фактором является соотношение электрической и тепловой нагрузок потребителя.
- Необходимо учитывать и характер нагрузки, колебание по часам суток.
- Важным фактором для выбора мини-ТЭЦ являются климатические условия, в которых будет работать установка. Прежде всего, этот фактор влияет на выбор типа ДВС.[5]

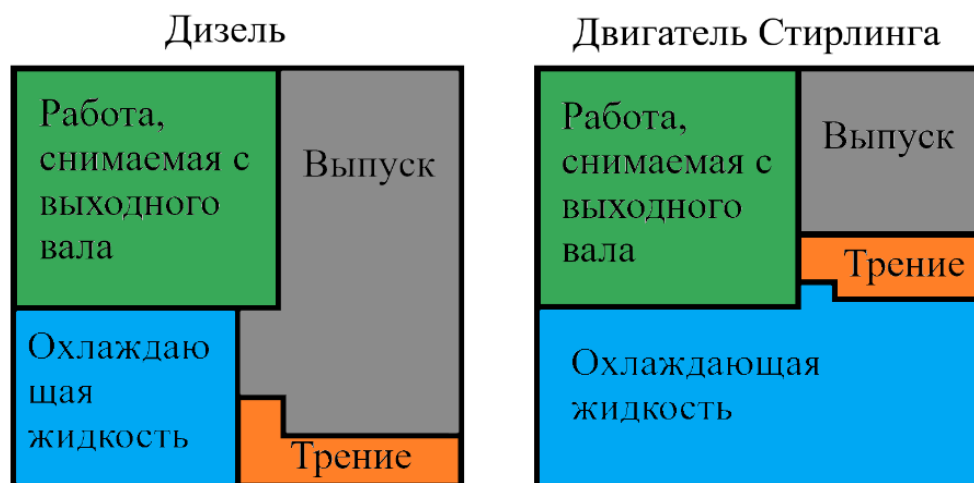


Рисунок 4 – Сравнение структур энергетического баланса двигателя Стирлинга и дизельного двигателя

Но если использовать вместо двигателей внутреннего сгорания двигатели Стирлинга, установка лишится ряда недочетов, например мини-ТЭЦ сможет работать на любом горючем материале, например на дровах или пеллетах. Также двигатель Стирлинга может вырабатывать немало тепловой энергии, которую можно будет пускать на отопление. Также большим плюсом двигателя Стирлинга является его пригодность к любым погодным условиям, а при низкой температуре он будет даже эффективнее работать из-за увеличения разности температур.

В нашей работе мы будем использовать передвижную схему.

Мы смогли отыскать три промышленные модели двигателя Стирлинга, которые подходят под наши задачи и решили сделать сравнительную таблицу, чтобы узнать, какой из них лучше подходит под наши задачи.

Таблица 1 – Сравнение двигателей Стирлинга [6,7,8,9]

Название Стирлинга	V2-6	Sun Pulse 500	QB80
Электрическая мощность, кВт	4,8	0,5	5,65
Масса, кг	57	-	110
Электрический КПД, %	48,6	12	40
Охладитель	Вода, воздух	вода	воздух, антифриз
Рабочее тело	азот	воздух	гелий
Частота вращения, об/мин	1200	160	6900
Тип топлива	любое	Газовое топливо	Природный газ, бутан, пропан
Высота, см	45,7	130	84
Длина, см	67,5	130	37
Ширина, см	43,2	130	37
Количество в контейнере	42	28	34
Суммарная мощность, кВт	201,6	14	192,1

Мы смогли собрать в таблицу все основные характеристики данных двигателей и сравнить их. В результате анализа можно сделать вывод, что двигатель Стирлинга V2-6 больше подходит для наших целей, так как у него выше КПД, и их количество в установке больше, из-за чего больше и мощность всей установки. Также из-за его формы будет легче установить их в цельную конструкцию, из которой оперативно можно будет заменить неисправные агрегаты и не останавливать станцию.[10]

Для нашей установки мы использовали 40-футовый контейнер, в который установили 42 двигателя Стирлинга.

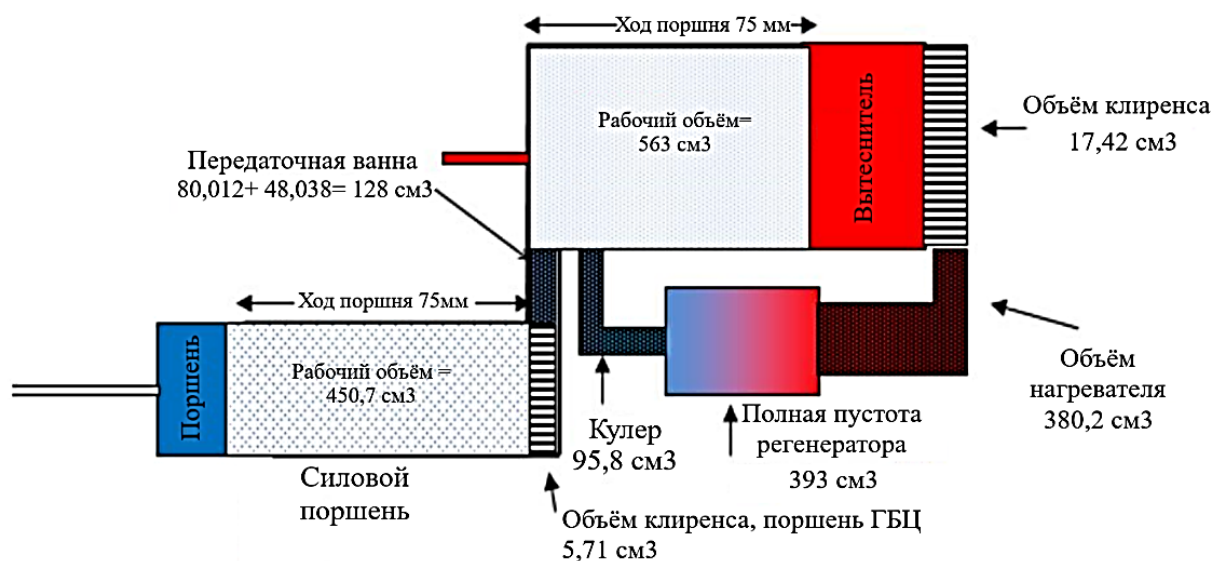


Рисунок 5 – Схема двигателя гамма типа



Рисунок 6 – Пример контейнерной мини-ТЭЦ с двигателем V2-6

Таблица 2 – Параметры двигателя V2-6

Диаметр силового цилиндра	8,75 см
Ход силового цилиндра	7,5 см
Пространство сжатия перемещаемого объема	450,7 см ³
Диаметр цилиндра буйка	9,8 см
Ход цилиндра буйка	7,5 см
Пространство расширения перемещаемого объема	565,3 см ³
Трубки в нагревателе	34
Длина трубок нагревателя	39,2 см
Диаметр трубок в нагревателе	6 мм
Трубки в охладителе	231
Длина трубок охладителя	9,71 см
Диаметр передаточной трубки	2,5 см
Длина передаточной трубки	16,3 см
Длина регенератора	6,5 см
Внешний диаметр регенератора	1,40 см
Внутренний диаметр регенератора	1 см
Регенератор пористости	0,91

Данная установка сможет работать за счет сжигания различного газа, жидкого топлива или твердого топлива, например нас пеллетах из различных отходов деревообработки и сельского хозяйства.[11]

Так же на крыше установки могут устанавливаться вакуумные солнечный коллекторы, которые могут вырабатывать тепловую энергию, которая может идти вместо топлива для работы двигателя Стирлинга в солнечное время или для помощи отопительной системы.



Рисунок 7 – Вакуумный солнечный коллектор

Также можно добавить аккумуляторы для запасания дополнительной электроэнергии, которая будет расходоваться в пики нагрузки.

Тепловую энергию установка будет получать от системы охлаждения двигателей и подавать для горячего водоснабжения или отопления.

Вся станция состоит из 5 тягачей с полуприцепами:

- сама установка с Двигателями Стирлинга и аккумуляторами в контейнере;
- второй и третий тягачи подвозят топливо к станции, иногда сменяя друг друга, когда у одного из них заканчивается топливо, в этот момент второй едет за новой партией.
- в четвертом полуприцепе устроены жилые помещения для персонала станции.
- пятый полуприцеп загружен запасными запчастями, чтобы в случае поломки оперативно её устранить.

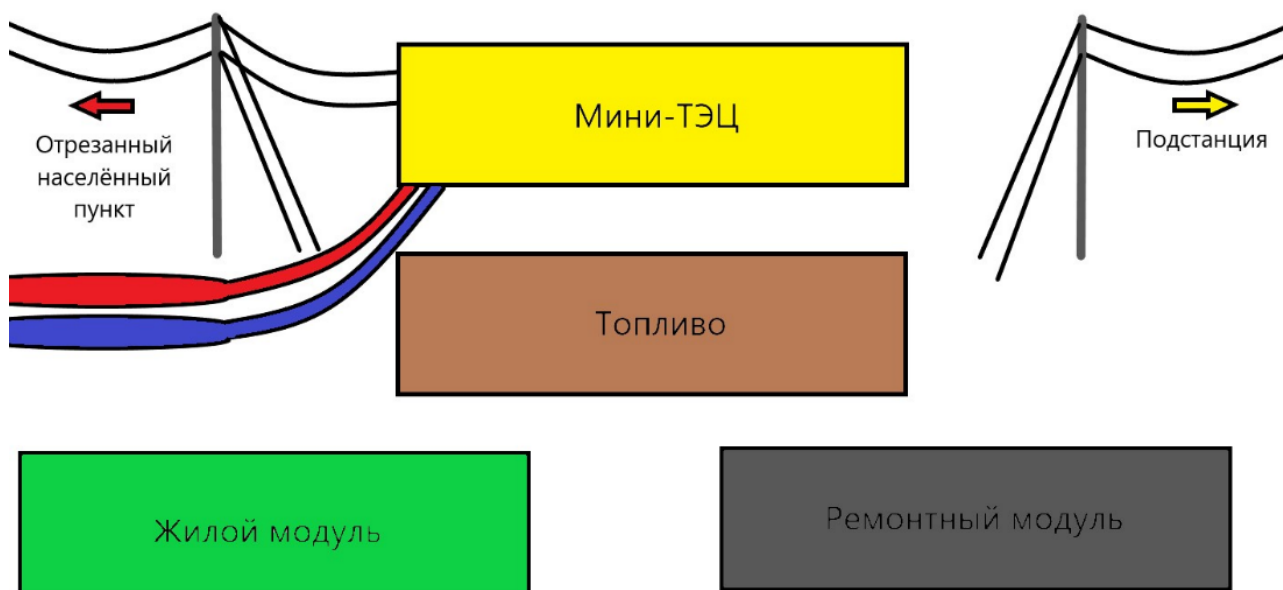


Рисунок 8 – Полная схема мини-ТЭЦ для чрезвычайных ситуаций

Использование двигателя Стирлинга, выгоднее дизельных генераторов, так как у них выше КПД и они экономичнее, экологичнее. Также за счет модульности конструкции (состоит из большого количества двигателей Стирлинга), при поломке одного модуля, станция продолжит работу, а модуль при наличии такого же сможет быть быстро заменен без выключения станции.

Принцип работы:

- случается какое-то бедствие, из-за которого обрываются линии электропередач или прорывает трубы;
- на базу данных электростанций приходит сообщение о случившемся и местонахождение разрыва;
- станция оперативно выдвигается к этому месту, где разворачивается и начинает подавать электрическую и тепловую энергию на отрезанный населенный пункт;
- при предотвращении последствий ЧП станция сворачивается и возвращается на станцию базирования, где проходит техобслуживание и пополняет недостающее топливо и запчасти.

В таблице 1 приведена мощность мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга V2-6 равная 201,6 кВт. Теперь рассчитаем количество жилых домов, которые сможет обеспечить одна мини-ТЭЦ.

$$24 \cdot P = E_{\text{сут}} \quad (1)$$

где P – мощность мини-ТЭЦ,
 $E_{\text{сут}}$ – суточная выработка мини-ТЭЦ.

$$24 \cdot 201,6 = 4838,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

В среднем один частный дом в сутки тратит около 7-8 кВт · ч, зная данную информацию мы можем рассчитать сколько домов сможет обеспечить одна мини-ТЭЦ.

Для расчёта суточную выработку возьмём 4600 кВт, чтобы обеспечить дополнительную энергию в момент пиков:

$$N_{\text{домов}} = \frac{E_{\text{сут}}}{E_{\text{дома}}} \quad (1)$$

$$N_{\text{домов}} = \frac{4600}{8} = 575 \text{ дом.}$$

Данный расчёт показывает, что данная установка сможет обеспечить небольшой посёлок электроэнергией, а при подключении нескольких станций можно будет обеспечить небольшой городок.

В случае если возле места подключения станции к сети отсутствует трубопровод отопительной системы, надо каким-то образом охлаждать систему двигателей, чтобы не было перегрева двигателей и не падал КПД. Так как Двигатель Стирлинга работает за счёт перепада температур, то с увеличением температуры холодной части двигателя, начнёт падать мощность и КПД. Есть несколько способов охлаждения двигателя Стирлинга:

- Вентиляторные (вентиляционные) градирни – это устройства для охлаждения оборотной воды воздухом, нагнетаемым с помощью вентилятора;
- Мягкие отопительные устройства нового типа.

Рассмотрели различные тягачи для мини-ТЭЦ и выбрали из отечественных производителей, подходящие шасси было найдено у Минского завода колесных тягачей (МЗКТ)– МЗКТ-652760–220.



Рисунок 9 – Тягач МЗКТ-652760-220

Благодаря его длине в 15,28 метра, на его грузовую платформу становится самый большой 40-футовый контейнер, в котором сможет расположиться наша электростанция.[12]

Таблица 3 – Характеристики платформы для мини-ТЭЦ

Характеристики	
Мощность	400 л. с.
Крутящий момент	1715 нм
Колесная формула	10x10
Коробка передач	Механическая, 9-ступенчатая
Грузоподъёмность	38,4 тонны
Длина	15,28 метра
Ширина	3,1 метра

Также для демонстрации принципа работы мини-ТЭЦ была собрана модель из лего. Данная модель работает за счёт 4 электромоторов и пульта дистанционного управления.

Данная установка показывает, что двигатели Стирлинга могут работать как мини-ТЭЦ на передвижной платформе. В данной установке было использовано два двигателя Стирлинга гамма-типа для выработки электрической энергии.



Рисунок 10 – Модель мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга

Двигатель Стирлинга может работать на различном топливе и в этом заключается одно из его главных преимуществ. Сейчас мы проведем сравнение, чтобы найти самое эффективное топливо для мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга.

Таблица 4 – Сравнение видов топлива для мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга [11]

Сравнение топлива для двигателя Стирлинга			
Природный газ	1 куб. м	0,55 руб	33,08 МДж
Мазут	1 л	0,1 руб	40,61 МДж
Керосин	1л	10 руб	43,5 МДж
Водород	1 куб. м	2925 руб	120 МДж
Каменный уголь	1 кг	0,4 руб	27 МДж
Торф брикеты	1 кг	0,11 руб	17,58 МДж
Древесные пеллеты	1 кг	0,4 руб	17,17 МДж
Щепа	1 кг	0,35 руб	10,93 МДж
Высушенная древесина	1 кг	0,14 руб	14,24 МДж

Из данной таблицы следует, что не всё топливо рентабельно для работы двигателя Стирлинга, например, из-за высокой стоимости. Например, невыгодно использовать керосин и водород из-за их дороговизны. Для расчёта самого выгодного топлива надо узнать сколько весит 1 кубометр природного газа.

$$m = \rho \cdot V, \text{ кг} \quad (3)$$

где ρ – плотность природного газа, кг/м³
 V – объём газа, м³.

$$m = 0,72 \cdot 1 = 0,72 \text{ кг}$$

Теперь надо высчитать сколько тепловой энергии выдаёт 1 кг природного газа. $Q = 33,08/0,72 = 45,94$ МДж – выделяется тепловой энергии из 1 кг природного газа.

Цена 1 кг природного составляет около 0,76 руб.

После данных расчётов можно решить какое топливо выгоднее для нашей мини-ТЭЦ. Самым выгодным топливом, более-менее экологичным, являются сухие дрова и природный газ.

Мазут и торф брикетный можно использовать как резервное топливо, но не как основное, потому что они очень загрязняют атмосферу.

Заключение

Использование двигателей Стирлинга для когенерации в мини-ТЭЦ является перспективной веткой развития энергетики, так как у него КПД выше, чем у дизельных генераторов, а также он экономичнее и экологичнее их.

Использование повсеместно мини-ТЭЦ при чрезвычайных ситуациях очень полезно, так как не всегда есть возможность быстро устранить неполадки, и люди могут несколько дней быть без света или отопления, а данные установки смогут временно обеспечить теплом и электричеством много людей, а именно 1 установка – 575 частных домов, а при экономном использовании электроэнергии и больше.

Данные станции можно использовать группами, для выработки большего количества электроэнергии, или комбинированно (одна электрическую энергию, другая тепловую). Могут использоваться военными или для выработки

электричества и тепла на северных месторождениях различных полезных ископаемых, а при использовании на местах добычи нефти, для работы станции можно использовать попутный нефтяной газ.

Литература

1. Когенерация [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Когенерация/>. – Дата доступа: 07.09.2024
2. Когенерационные установки с многотопливными двигателями Стирлинга [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://ecoteco.ru/id119//>. – Дата доступа: 22.04.2024
3. Двигатель Стирлинга [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://licpnz.ru/index/dvigatel_stirlinga/0-348/. – Дата доступа: 07.09. 2024