

ПЕРЕДВИЖНАЯ ТЭЦ С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА MOBILE CHP WITH STIRLING ENGINE

А.А. Мильяненко, А.А. Жалевич

Научные руководители – Т.А. Петровская, старший преподаватель,
Г.Г. Соколовская, преподаватель физики.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
petrovskaya@bntu.by

A. Milyanenko, A. Zhalevich

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer, G. Sokolovskaya, physics teacher.
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***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 восстановления 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]

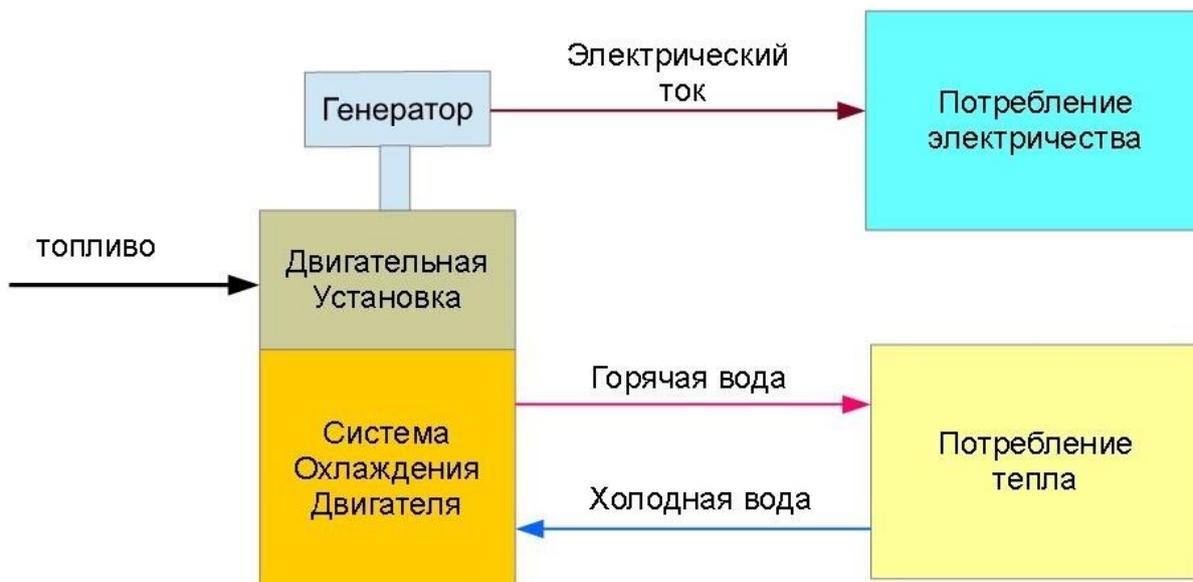


Рисунок 1 – Схема когенерации

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]

Существует несколько типов двигателя Стирлинга. Основные: Альфа-Стирлинг; Бета-Стирлинг; Гамма-Стирлинг.

Для нашей установки мы использовали 40-футовый контейнер, в который установили 42 двигателя Стирлинга шведского производства V2-6, суммарная электрическая мощность которых около 126 кВт. [4]

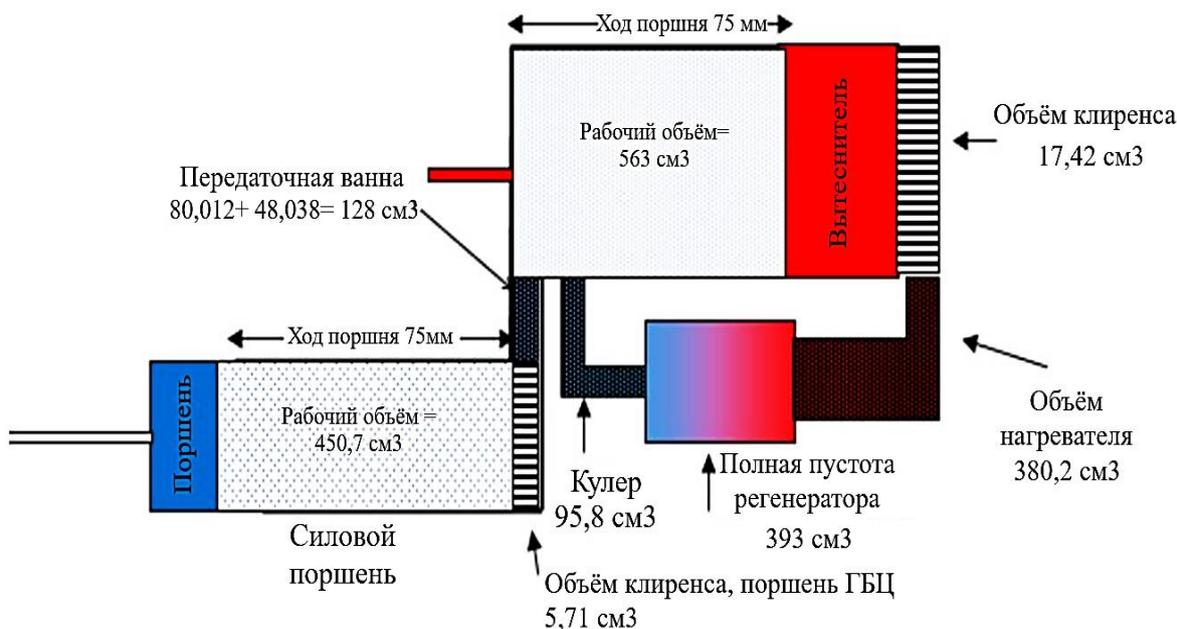


Рисунок 2 – Схема двигателя гамма типа

Таблица 1 – 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 объемного пространства	565,3 см ³
Трубки в нагревателе	34
Длина трубок нагревателя	39,2 см
Диаметр трубок нагревателя	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, на пеллетах из различных отходов деревообработки и сельского хозяйства. [5]

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

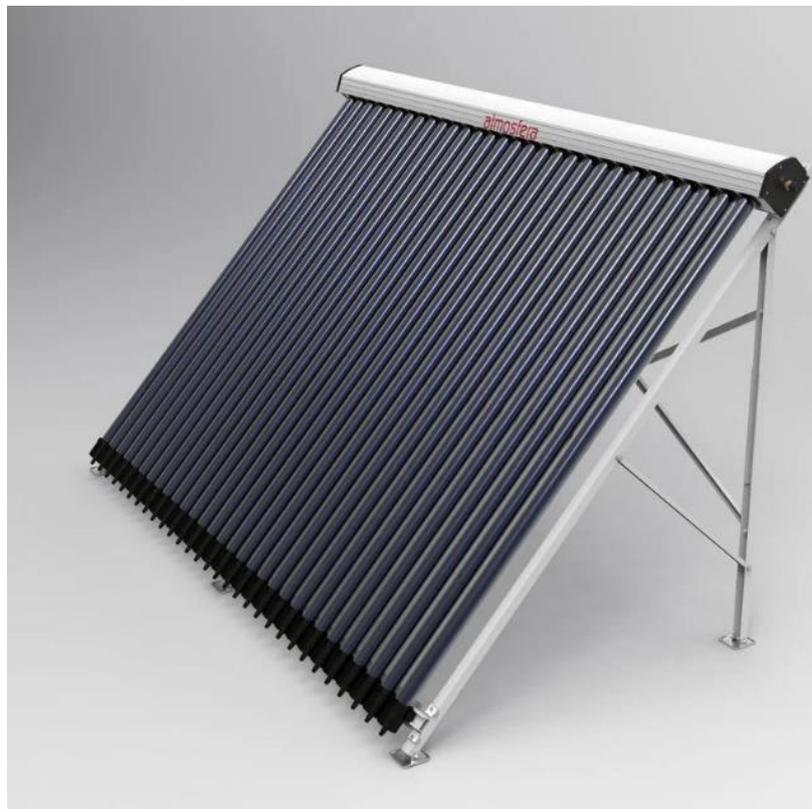


Рисунок 3 – Вакуумный солнечный коллектор

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.

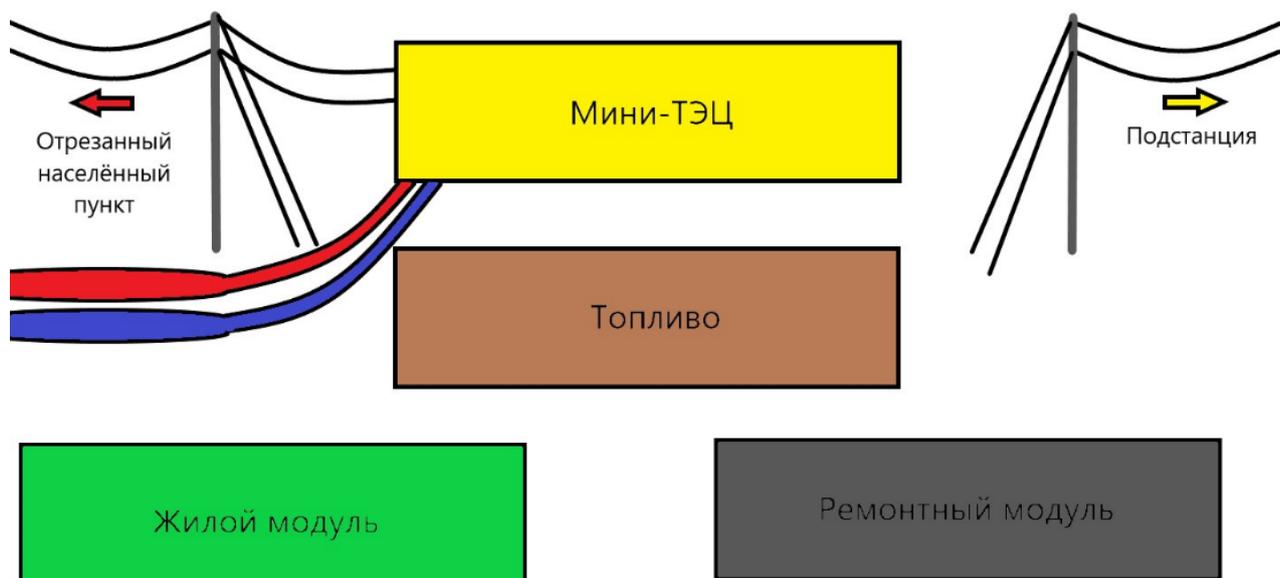


Рисунок 4 – Полная схема мини-ТЭЦ для чрезвычайных ситуаций

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 населённый пункт;

- При предотвращении последствий ЧП станция сворачивается и возвращается на станцию базирования, где проходит техобслуживание и пополняет недостающее топливо и запчасти.

Рассчитаем сколько электроэнергии выработает мини-ТЭЦ за сутки:

$$E = P \cdot t, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (1)$$

где E – электрическая энергия, кВт·ч;

P – мощность, кВт;

T – время, ч.

$E = 201,6 \text{ кВт} \cdot 24 \text{ ч} = 4838,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, при среднем потреблении 7–8 кВт·ч за сутки одним домом, такой станции хватит, для производства электроэнергии на 575 домов, плюс запас в 238,4 кВт·ч для обеспечения при пиковых нагрузках.

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.

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 2 – Сравнение видов топлива для мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга [6]

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.

$$m = \rho \cdot V, \text{ кг} \quad (2)$$

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

$$m = 0,72 \text{ кг/м}^3 \cdot 1 \text{ м}^3 = 0,72 \text{ кг}$$

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 0,55 руб/0,72 кг = 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: 22.04.2024
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: 22.04.2024

4. Company introduction and current V2-6 Products [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/22643/4-inresol-introduction-and-products.pdf> /. — Дата доступа: 22.04.2024
5. Design analysis and control of the V2-6 Stirling engine [Электронный ресурс]: Режим доступа: - https://www.researchgate.net/publication/338431073_Design_analysis_and_control_of_the_V2-6_Stirling_engine /. — Дата доступа: 22.04.2024
6. Сравнительная таблица теплотворности некоторых видов топлива [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <https://a-invest.com.ua/aktualno/tablitسا-teplotvornosti.html> /. — Дата доступа: 22.04.2024