

Государственное учреждение образования
«Средняя школа №40 имени В.И.Кремко г. Гродно»

**ПЕРЕДВИЖНАЯ МИНИ-ТЭЦ С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА
ДЛЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Авторы работы:

Мильяненко Александр Александрович, 11 класс
ГУО «Средняя школа №40 имени В.И. Кремко г. Гродно»,

Научные руководители:

Соколовская Галина Генриховна, учитель физики и астрономии
ГУО «Средняя школа № 40 имени В.И. Кремко г. Гродно»,
Петровская Татьяна Александровна,
старший преподаватель кафедры
«Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»
энергетического факультета, БНТУ

г. Гродно, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Теоретическая часть.....	4
1.1 Двигатель Стирлинга.....	4
1.2 Виды двигателя Стирлинга.....	4
1.3 Цикл Стирлинга.....	5
1.4 Мини-ТЭЦ.....	6
2 Исследовательская часть.....	8
2.1 Основа нашей передвижной мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга.....	8
2.2 Сравнительная характеристика двигателей Стирлинга для мини-ТЭЦ.....	10
2.3 Выбор платформы для мини-ТЭЦ.....	10
2.4 Количество жилья обеспечивающихся от мини-ТЭЦ.....	10
2.5 Охлаждение мини-ТЭЦ.....	11
2.6 Модель мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга из конструктора лего.....	12
2.7 Выбор топлива для мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга.....	12
Заключение.....	13
Список использованных источников.....	14
Приложение.....	15

ВВЕДЕНИЕ

Мы живем в мире, в котором каждый день происходят различные бедствия, из-за которых пропадает электричество или отопление. Вследствие этого останавливаются производства, перестаёт работать аппаратура в больницах, особенно это опасно для людей в реанимации. При отсутствии резервного питания может испортиться большое количество продуктов в магазинах и на складах. А на возобновление электро- и теплоснабжения может уйти немало времени и средств. Из-за этого государство, страдающее от бедствия, может понести огромные потери. Чтобы минимизировать расходы от бедствия, можно использовать различные мини-ТЭЦ, например, на дизельных генераторах или двигателях Стирлинга. Также такие станции дадут отопление, которое может очень помочь, когда происшествие случилось в северных регионах.

Актуальность: Передвижные ТЭЦ наиболее активно используются на территориях, где отсутствует централизованное энергоснабжение или существуют трудности с подачей электроэнергии. К главным преимуществам таких ТЭЦ относят высокую степень мобильности, удобство в обслуживании, простоту в монтаже и строительстве. Но из-за того, что в основном передвижные ТЭЦ работают на дизельном топливе, то они считаются одними из самых экологически “грязных” источников энергоснабжения.

Двигатель Стирлинга из-за своей практичности и высокого КПД может конкурировать с дизельными двигателями, являясь одним из самых экологичных двигателей. Важными преимуществами являются малый уровень шума и малая степень загрязнения воздуха выхлопными газами при значениях эффективного КПД.

Цель исследования: изучить применение мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга в чрезвычайных ситуациях.

Задачи исследования:

1. Изучить внутреннее устройство двигателя Стирлинга;
2. Изучить виды и принцип работы двигателя Стирлинга;
3. Определить, что относится к мини-ТЭЦ;
4. Сравнение различных существующих двигателей Стирлинга;
5. Создание модели мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга;
6. Рассчитать характеристики и эффективность мини-ТЭЦ;

Объект исследования: мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга.

Предмет исследования: различные характеристики мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга.

Методы исследования:

1. Сбор и анализ различной информации по теме;
2. Конструирование;
3. Проведение расчётов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Двигатель Стирлинга

Это тепловая машина, в которой жидкое или газообразное рабочее тело движется в замкнутом объёме, разновидность двигателя внешнего сгорания. Основан на периодическом нагреве и охлаждении рабочего тела с извлечением энергии из возникающего при этом изменения объёма рабочего тела. Может работать не только от сжигания топлива, но и от любого источника тепла (рисунок 1) [1].

1.2 Виды двигателя Стирлинга

Существует несколько видов двигателя Стирлинга, которые между собой могут разительно отличаться, но существует 3 основных двигателя Стирлинга:

1. α -Стирлинг — содержит два отдельных силовых поршня в отдельных цилиндрах, один — горячий, другой — холодный. Цилиндр с горячим поршнем находится в теплообменнике с более высокой температурой, с холодным — в более холодном. У данного вида двигателя отношение мощности к объёму достаточно велико, но, к сожалению, высокая температура «горячего» поршня создаёт определённые технические трудности. Регенератор находится между горячей частью соединительной трубки и холодной (рисунок 2, 3, 4) [2, 3].

2. β -Стирлинг — цилиндр всего один, горячий с одного конца и холодный с другого. Внутри цилиндра движутся поршень (с которого снимается мощность) и вытеснитель, разделяющий горячую и холодную полости. Газ перекачивается из холодной части цилиндра в горячую через регенератор. Регенератор может быть внешним, как часть теплообменника, или может быть совмещён с поршнем-вытеснителем. В отличие от типа альфа, тип бета позволяет избежать технических проблем, связанных с горячим перемещением уплотнений, поскольку силовой поршень не контактирует с горячим газом (рисунок 5, 6) [2, 4].

3. γ -Стирлинг — тоже есть поршень и вытеснитель, но при этом два цилиндра — один холодный (там движется поршень, с которого снимается мощность), а второй горячий с одного конца и холодный с другого (там движется вытеснитель). Регенератор может быть внешним, в этом случае он соединяет горячую часть второго цилиндра с холодной и одновременно с первым (холодным) цилиндром. Внутренний регенератор является частью вытеснителя (рисунок 7, 8, 9) [2].

Также существует 3 дополнительных вида двигателя Стирлинга:

1. Свободнопоршневой двигатель Стирлинг — это поршневой двигатель, в котором движущиеся поршни не связаны с коленчатым валом для извлечения мощности. Это означает, что нет вращающихся частей, а движение двух поршней, обозначенных как рабочий поршень и вытеснитель, связано динамикой давления газа. Они активируются только относительным давлением, а относительное движение определяется их динамическими характеристиками.

Выходная мощность берется от линейного генератора переменного тока. Обычно к рабочему поршню присоединяют постоянный магнит, вырабатывающий электричество непосредственно от линейного хода поршня, движущегося через катушку возбуждения генератора. Свободнопоршневой двигатель Стирлинга работает как кинематический двигатель Стирлинга (рисунок 10, 11, 12) [5, 6].

2. Роторный двигатель Стирлинга — Отличается отсутствием кривошипно-шатунного механизма. Это уменьшает габаритно массовые параметры силового агрегата. Конструкция роторного двигателя позволяет улучшить герметичность рабочей камеры. Роторный двигатель Стирлинга с внешним подводом теплоты, с рабочим телом, находящимся в нем под избыточным давлением, содержащий, по меньшей мере, два ротора на одном валу, которые размещены в соответствующих цилиндрических корпусах, при этом ротор состоит из цилиндра, выполненного заодно с шайбой, и вращается в цилиндрическом корпусе с выполненными в нем радиальными прорезями, в которые установлены пластины с вырезами, надетыми на шайбу ротора, с возможностью перемещения взад-вперед вдоль оси двигателя при вращении ротора, при этом ротор, пластины и корпус образуют переменные объемы, в которых происходят рабочие циклы двигателя Стирлинга, каждый из переменных объемов, образованных вокруг одного ротора, соединяется каналами с переменными объемами, образованными вокруг другого ротора, при этом каналы соединяют объемы, расположенные со сдвигом 90 градусов один относительно другого, а один ротор повернут относительно другого ротора на 180 градусов (рисунок 13) [7].

3. Термоакустический двигатель Стирлинг — вместо использования поршня-вытеснителя, рабочее тело движется между горячей и холодной полости за счёт явлений акустического резонанса. Такая схема позволяет уменьшить количество движущихся частей, но возникают сложности с поддержанием акустического резонанса, а также со снятием мощности (рисунок 14) [2].

1.3 Цикл Стирлинга

Идеальный цикл Стирлинга является частным случаем обобщенного цикла Карно, имеет одинаковый с Карно термический КПД и состоит из двух изотерм и двух изохор. (рисунок 15)

Цикл состоит из четырех процессов:

1–2 – процесс изотермического сжатия, теплота от рабочего тела с температурой T_{\min} передается окружающей среде;

2–3 – процесс при постоянном объеме, теплота от насадки регенератора передается рабочему телу;

3–4 – процесс изотермического расширения, теплота от внешнего источника с температурой T_{\max} передается рабочему телу;

4–1 – процесс при постоянном объеме, теплота от рабочего тела передается насадке регенератора. Описанный выше идеальный цикл Стирлинга подразумевает прерывистое движение поршней и наличие сложного

многозвенного привода. Термодинамическая эффективность двигателя не ухудшится, если привод с прерывистым движением поршней заменить гармоническим законом движения (рисунок 16, 17).

Выражение термического КПД двигателя Стирлинга имеет вид:

$$\eta_t^{st} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} \quad (1.1)$$

$$q_1 = RT_{max} \ln \frac{v_4}{v_3} = RT_{max} \ln \frac{v_1}{v_2}; \quad (1.2)$$

$$|q_2| = RT_{min} \ln \frac{v_1}{v_2} \quad (1.3)$$

$$\eta_t^{st} = 1 - \frac{RT_{min} \ln \frac{v_1}{v_2}}{RT_{max} \ln \frac{v_1}{v_2}} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} \quad (1.4)$$

Таким образом, привлекательность двигателя Стирлинга заключается в том, что его термический КПД равен предельно допустимому КПД обратимого цикла Карно. При гармоническом движении поршней цикл Стирлинга рассчитывается по методике Шмидта.

1.4 Мини-ТЭЦ

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 (рисунок 18) [8].

Современные мини-ТЭЦ работают преимущественно на базе газопоршневых установок (сокращенно ГПУ), генерирующих электроэнергию за счет использования поршневого двигателя внутреннего сгорания и генератора переменного тока. Так же источником энергии в мини-ТЭЦ может выступать газотурбинная установка, паровая или водогрейная котельная. Выбор оборудования определяется оптимальным вариантом с позиции объема вложений и срока реализации.

Использование мини-ТЭЦ является современным, надёжным и экономически выгодным решением вопроса снабжения объекта электроэнергией и теплом, поскольку обеспечивает независимость потребителя от централизованных систем электроснабжения, решает задачи нехватки и перебоев электроэнергии и позволяет значительно экономить на оплате электричества и отопления.

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

1. низкую стоимость вырабатываемой электроэнергии, тепла и, соответственно, быстрый возврат инвестиций;
2. повышение надежности энергоснабжения;
3. независимость режима работы потребителя от режима работы энергосистем.
4. 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:

1. **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.
2. **Стационарное исполнение** — мини-ТЭЦ со всем вспомогательным оборудованием и системами устанавливается внутри капитального здания (рисунок 19).
3. **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 20).

Блочно-модульное исполнение значительно сокращает сроки запуска объекта в эксплуатацию и стоимость его реализации, а также не имеет жестких ограничений по размерам. Блок-модуль может быть демонтирован, перемещен, смонтирован и запущен в работу в течение нескольких недель. А передвижное исполнение позволит в кратчайшие сроки запустить установку и производить электроэнергию и тепло [9].

2 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Основа нашей передвижной мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга

Данные мини-ТЭЦ с двигателями внутреннего сгорания можно использовать в различных областях промышленности, особенно эффективны они будут в отдалённых районах стран с холодным климатом. Особенностью таких установок, является способность работать автономно, с использованием практически любого топлива. Кроме того, они мобильны, передвижные мини-ТЭЦ малой мощности за несколько часов вводятся в эксплуатацию. Для обслуживания таких установок требуется малое количество людей. Особенно выгодно применение мини-ТЭЦ для использования в чрезвычайных ситуациях.

При проектировании мини-ТЭЦ должны учитываться следующие основные факторы:

1. 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, газах, получаемых из биомассы и органических отходах производств).

2. Важным фактором является соотношение электрической и тепловой нагрузок потребителя.

3. Необходимо учитывать и характер нагрузки, колебание по часам суток.

4. Важным фактором для выбора мини-ТЭЦ являются климатические условия, в которых будет работать установка. Прежде всего, этот фактор влияет на выбор типа ДВС [10].

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 (рисунок 1).

Наша установка работает на принципе когенерации:

Когенерация — процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии (рисунок 2).

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 [11].

Для создания нашей установки мы собираемся использовать 40-футовый высокий широкий контейнер объёмом 79 м³.

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

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:

1. Сама установка с Двигателями Стирлинга и аккумуляторами в контейнере;
2. 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.
3. В четвертом полуприцепе устроены жилые помещения для персонала станции.
4. Пятый полуприцеп загружен запасными запчастями, чтобы в случае поломки оперативно её устранить (рисунок 3).

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:

1. До возникновения чрезвычайной ситуации, катастрофы и после ликвидации ее последствий компактные передвижные многотопливные мини-ТЭЦ малой и средней мощности с двигателями Стирлинга устанавливаются как пристройки к стационарным энергетическим объектам большой и средней мощности. Они экономично работают на основном виде топлива – природном газе.
2. На базу данных электростанций приходит сообщение о случившемся и местонахождение разрыва;
3. При возникновении чрезвычайной ситуации или катастрофы в районе стационарного энергетического объекта большой и средней мощности мини-ТЭЦ и передвижные емкости с топливом оперативно под управлением МЧС перемещаются к стационарному объекту в зоне катастрофы, где необходимо организовать энергоснабжение для проведения спасательных работ и в период ликвидации последствий катастрофы. Такими объектами могут быть городки спасателей, временные городки для пострадавшего населения, разрушенные котельные, энергетические объекты, важные для жизнеобеспечения предприятия. Конструкция мини-ТЭЦ позволяет начать их эксплуатацию при минимальной инженерной подготовке и восстановлении участков инженерных сетей пострадавшего объекта.
4. При предотвращении последствий ЧП станция сворачивается и возвращается на станцию базирования, где проходит техобслуживание и

пополняет недостающее топливо и запчасти и заново подключается к объекту большой или средней мощности.

2.2 Сравнительная характеристика двигателей Стирлинга для мини-ТЭЦ

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 2.1) [12, 13, 14, 15].

Мы смогли собрать в таблицу все основные характеристики данных двигателей и сравнить их. Так как Sun Pulse 500 является низкотемпературным он нам не сильно подходит, потому что для работы мини-ТЭЦ мы используем сжигаемое топливо, которое даёт температуры большие, чем надо для этого двигателя. Далее мы решили рассчитать суммарную мощность установки, чтобы определить, какой двигатель предпочтительнее №1 или №3.

Расчёт мини-ТЭЦ с двигателем V2-6:

$$N * P = P_{\text{общ}}$$

Где N— количество двигателей в установке,

P— мощность двигателя,

$P_{\text{общ}}$ — суммарная мощность.

$$42 * 4,8 \text{ кВт} = 201,6 \text{ кВт}$$

Расчёт мини-ТЭЦ с двигателем QB80:

$$34 * 5,65 \text{ кВт} = 192,1 \text{ кВт}$$

После расчётов 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 (рисунок 4, 5).

2.3 Выбор платформы для мини-ТЭЦ

Мы рассмотрели различные тягачи для мини-ТЭЦ, но так как сейчас закрыт импорт зарубежной техники, мы выбирали из отечественных производителей. Подходящие шасси было найдено у Минского завода колесных тягачей (МЗКТ)— МЗКТ-652760–220 (рисунок 6).

Благодаря его длине в 15,28 метра, на его грузовую платформу становится самый большой 40-футовый контейнер, в котором сможет расположиться наша электростанция (таблица 2.2) [16].

2.4 Количество жилья обеспечивающихся от мини-ТЭЦ

Ранее мы рассчитали, что мощность мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга V2-6 201,6 кВт. Теперь мы рассчитаем количество жилых домов, которые сможет обеспечить одна мини-ТЭЦ.

$$24\text{ч}\cdot P = E_{\text{сут}}$$

Где P — мощность мини-ТЭЦ,

$E_{\text{сут}}$ — суточная выработка мини-ТЭЦ.

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

Из различных источников мы узнали, что 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 (рисунок 7).

Для расчёта мы возьмём 4600 кВт·ч, чтобы обеспечить дополнительную энергию в момент пиков $E_{\text{пик}} = 4838,4\text{кВт}\cdot\text{ч} - 4600\text{кВт}\cdot\text{ч} = 238,4\text{кВт}\cdot\text{ч}$

$$N_{\text{домов}} = E_{\text{сут}}/E_{\text{дома}}$$

$$N_{\text{домов}} = 4600\text{ кВт}\cdot\text{ч}/8\text{ кВт}\cdot\text{ч} = 575\text{ дом}$$

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

2.5 Охлаждение мини-ТЭЦ

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.

Вентиляторные (вентиляционные) градирни – это устройства для охлаждения оборотной воды воздухом, нагнетаемым с помощью вентилятора (рисунок 8).

Принцип действия вентиляторной градирни:

Горячий теплоноситель подается в градирню сверху, разбрызгивается через форсунки в виде капель на оросителе, после чего стекает в накопительный резервуар. Навстречу жидкости поднимается поток воздуха, создаваемый вентилятором.

Забор воздушных масс производится в нижней части градирни.

Холодный воздух отнимает часть тепла у охлаждаемой жидкости. Уменьшение потерь влаги достигается за счет установленного в градирне каплеуловителя, который расположен на пути влажного воздушного потока [17].

Для снижения массы системы теплоснабжения быстровозводимых сооружений предложено использовать гибкие отопительные приборы нового типа, изготовленные из пластичного материала с низкой плотностью. В качестве материала для изготовления отопительных приборов автором настоящей работы впервые для этой цели предлагается поливинилхлорид, воздействие которого на поверхность тела человека безопасно (рисунок 9).

Предлагаемый отопительный прибор (рисунок 2.9) для системы теплоснабжения быстровозводимого сооружения имеет две поверхности нагрева: внешняя – обращенная в пространство помещения и внутренняя – обращенная к ограждающим конструкциям (или к другой поверхности).

Внутренняя поверхность образует с ограждающими плоскостями каналы, теплообмен в которых отличается от теплообмена на внешней поверхности прибора. [18]

Данные устройства подключаются по трубам к мини-ТЭЦ в случае необходимости отопления помещений вместо отдачи тепла через градирни.

2.6 Модель мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга из конструктора лего

Также для демонстрации принципа работы мини-ТЭЦ мы собрали 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).

2.7 Выбор топлива для 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 2.3).

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.

$$m = \rho \times V,$$

где ρ — плотность природного газа,

V — объём газа;

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

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.

$$\text{Цена 1 кг природного} = 0,55 \text{ руб} / 0,72 \text{ кг} = 0,76 \text{ руб}$$

После данных расчётов можно решить какое топливо выгоднее для нашей мини-ТЭЦ. Самым выгодным топливом, более-менее экологичное, торф брикетный, после сухие дрова, а после природный газ.

Мазут можно использовать как резервное топливо, но не как основное, потому что он очень загрязняет атмосферу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как уже отмечено выше привлекательность проектов строительства мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга для чрезвычайных ситуаций не вызывает сомнения. Они характеризуются относительно высокой производительности при небольших габаритах и массе. Это дает возможность перевозить их в морских контейнерах и оперативно доставлять в места бедствий для быстрого восстановления электроснабжения и теплоснабжения, обеспечения полевых лагерей и госпиталей. Конкурентоспособность энергоустановок с газотурбинными установками и дизельными электростанциями обеспечивается достаточно низкой в сравнении с другими видами оборудования удельной стоимостью за кВт установленной мощности.

Нами были изучены все основные конструкции двигателей Стирлинга, обнаружены их различия и особенности. Разобран принцип работы двигателя Стирлинга и его цикл. Выразили формулу термического КПД двигателя. Рассмотрено устройство и виды мини-ТЭЦ, изучены виды топлива для их работы.

Мы полностью изучили когенерацию и её подтип — Стирлинг когенерацию. Мы привели плюсы использования двигателя Стирлинга перед другими энергетическими установками. Мы разработали схему передвижной мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга и разработали принцип её работы. Нами были изучены 3 двигателя Стирлинга и выбран самый эффективный, подсчитана общая электрическая мощность мини-ТЭЦ и количество домов, которые она сможет обеспечить. Выбрана оптимальная платформа для мини-ТЭЦ отечественного производства. Рассмотрено большое количество видов топлива проведено их сравнение и выбраны самые экологичные и выгодные виды топлива. Рассмотрены различные способы отвода тепловой энергии от мини-ТЭЦ: отдача в общую сеть, сборка быстросборных отопительных приборов нового типа, охлаждение с помощью вентиляторных градирен.

Для показа работоспособности нашей мини-ТЭЦ нами была создана небольшая модель из конструктора лего с использованием двух двигателей Стирлинга гамма-типа.

В итоге можно сказать, что мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга для ЧС является перспективной технологией, которую следует развивать и популяризовать, так как такие установки могут спасти немало жизней в случае бедствий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Двигатель Стирлинга (Двигатель внешнего сгорания) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tm.spbstu.ru/%D0%94%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%A1%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%D1%81%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F . – Дата доступа: 11.12.2023
2. Двигатель Стирлинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%A1%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B0 . – Дата доступа: 11.12.2023
3. Como funciona um motor Stirling Alfa? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://manualdomotorstirling.blogspot.com/2014/04/como-e-um-motor-stirling-alfa.html> . – Дата доступа: 11.12.2023
4. Двигатели Стирлинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hmong.ru/wiki/Displacer> . – Дата доступа: 11.12.2023
5. двигатель Стирлинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sheba.spb.ru/delo/dvigateli-stirlinga-1986.htm> . – Дата доступа: 11.12.2023
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/21/7009> . – Дата доступа: 11.12.2023
7. Free-Piston Stirling Engine Technologies and Models: A Review [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2625071C2/ru> . – Дата доступа: 11.12.2023
8. Мини-ТЭЦ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%B8-%D0%A2%D0%AD%D0%A6> . – Дата доступа: 11.12.2023
9. Мини-ТЭЦ. Что это такое? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mks-group.ru/a/mini-tec> . – Дата доступа: 11.12.2023
10. Типы, области применения мини ТЭЦ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gigavat.com/mini_tets1.php . – Дата доступа: 11.12.2023
11. Когенерационные установки с многотопливными двигателями Стирлинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecoteco.ru/id119/> . – Дата доступа: 11.12.2023
12. PowerGen 5650 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://qnergy.com/pg5650/> . – Дата доступа: 11.12.20

ПРИЛОЖЕНИЕ

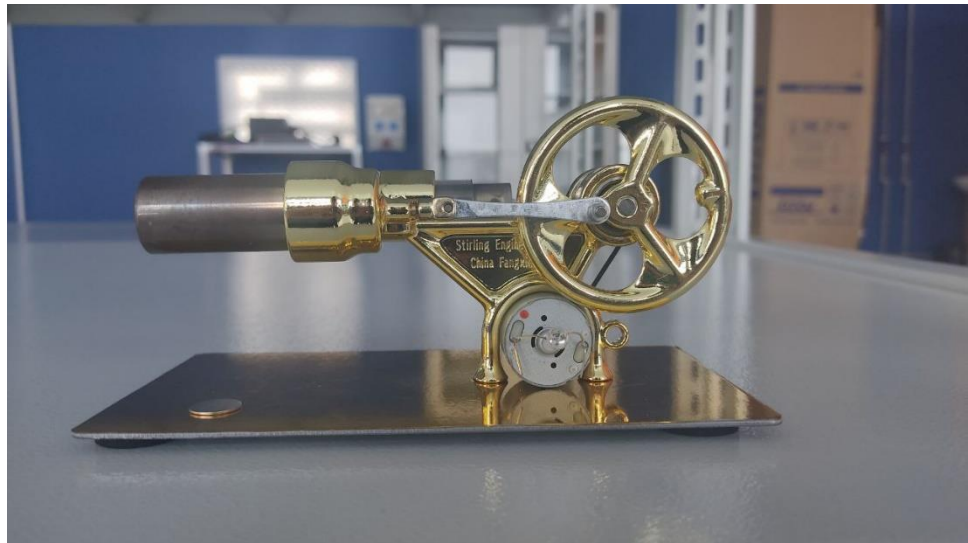


Рисунок 1.1 - Модель двигателя Стирлинга

Альфа двигатель Стирлинга

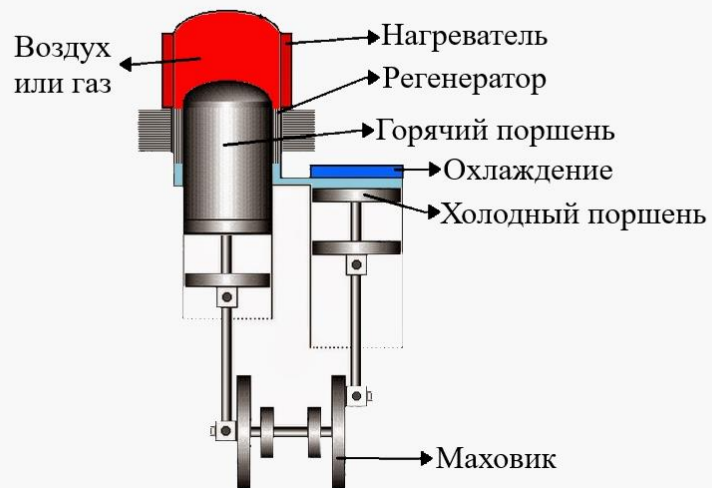


Рисунок 1.2 - Параллельный альфа-Стирлинг

Альфа двигатель Стирлинга с перпендекулярным размещением цилиндров

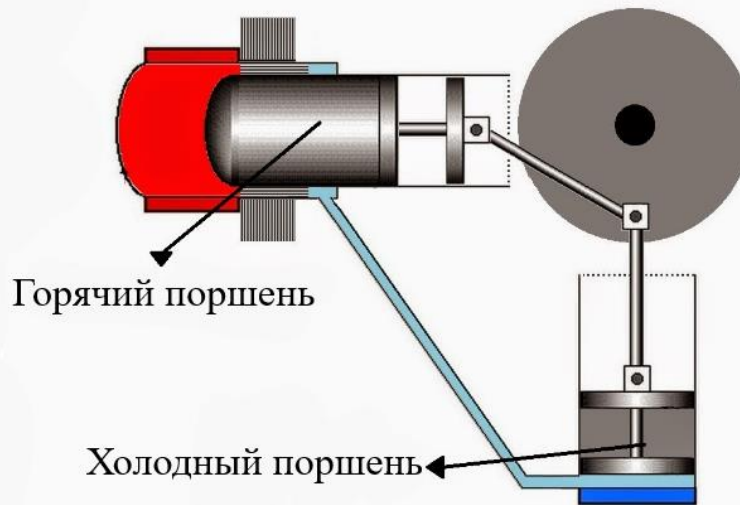


Рисунок 1.3 - Перпендикулярный альфа-стирлинг

Альфа двигатель стирлинга Росса Йоука

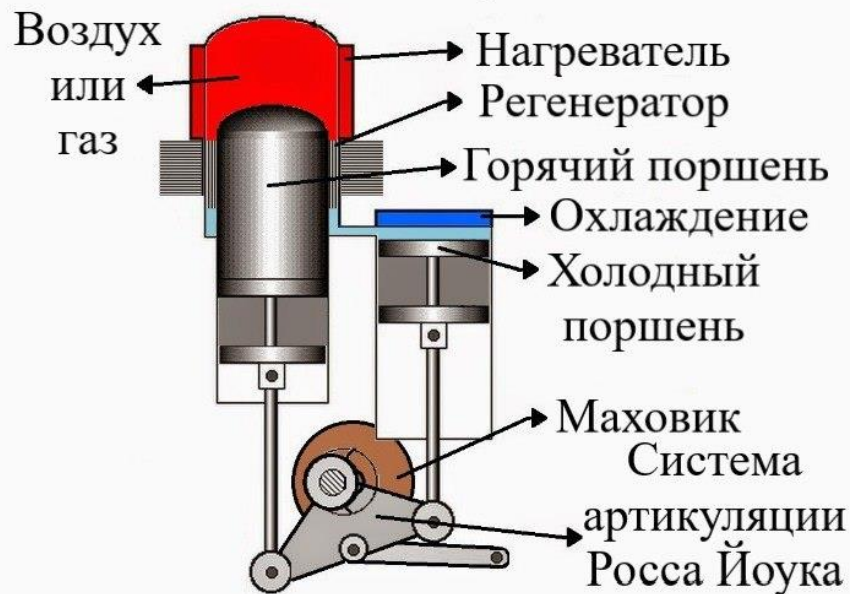


Рисунок 1.4 - Альфа-стирлинг Росса Йоука

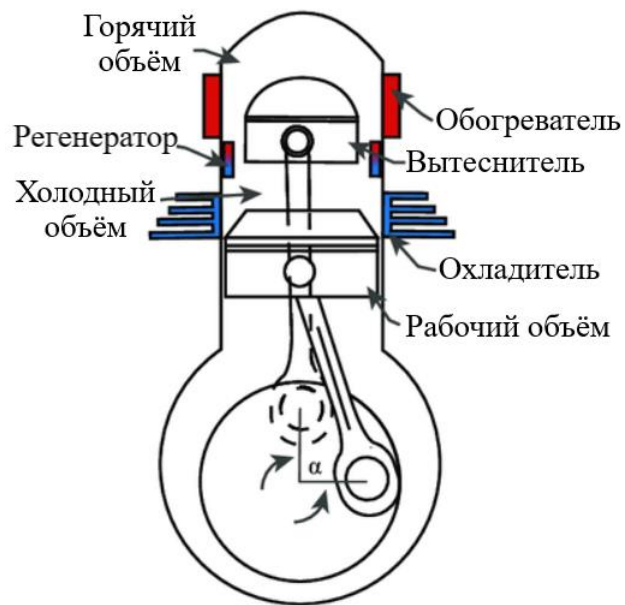


Рисунок 1.5 - Бета-стирлинг

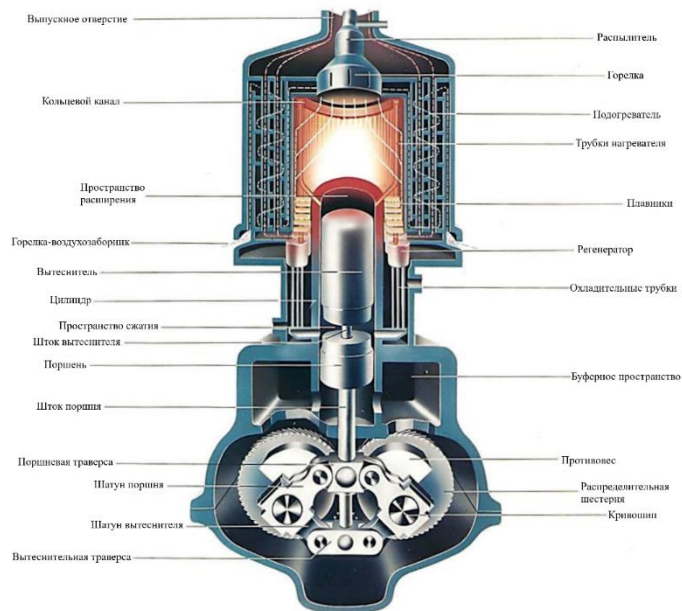


Рисунок 1.6 - Схема ромбического привода

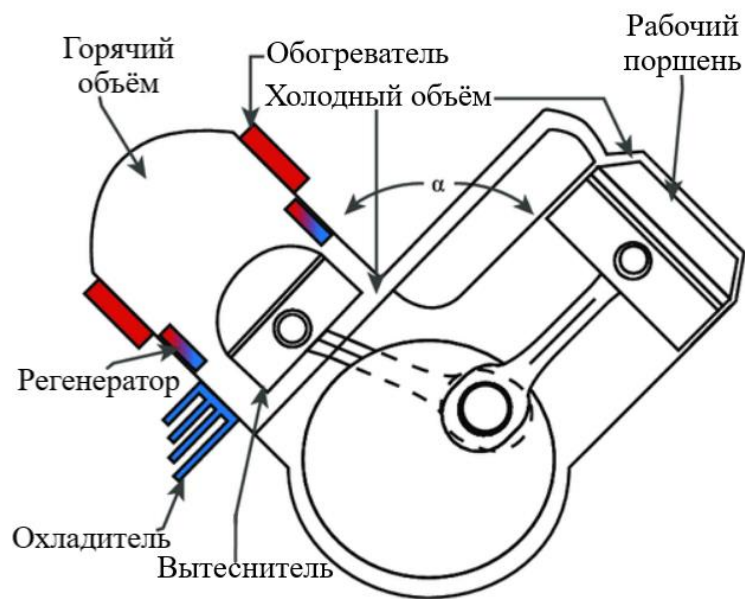
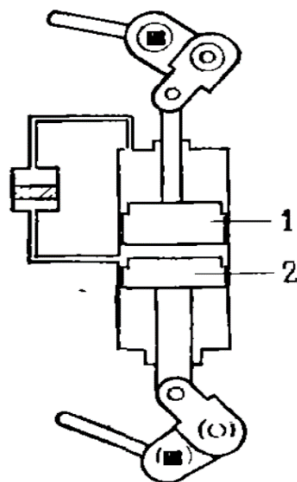


Рисунок 1.7 - Гамма-стирлинг



1 — рабочий поршень; 2 — вытеснительный поршень.

Рисунок 1.8 - Кривошипно-шатунный механизм

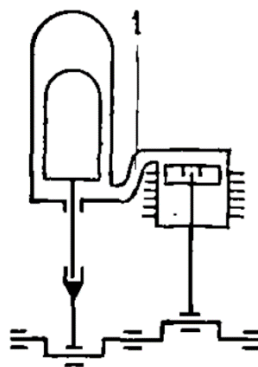


Рисунок 1.9 - Двигатель конфигурации гамма с рабочим и вытеснительным поршнями 1 — соединительный канал

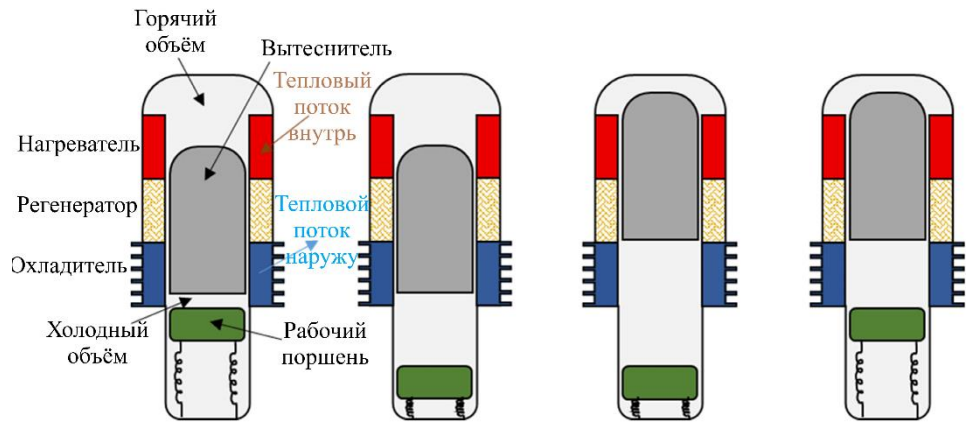


Рисунок 1.10 - Режим работы свободнопоршневого двигателя Стирлинга

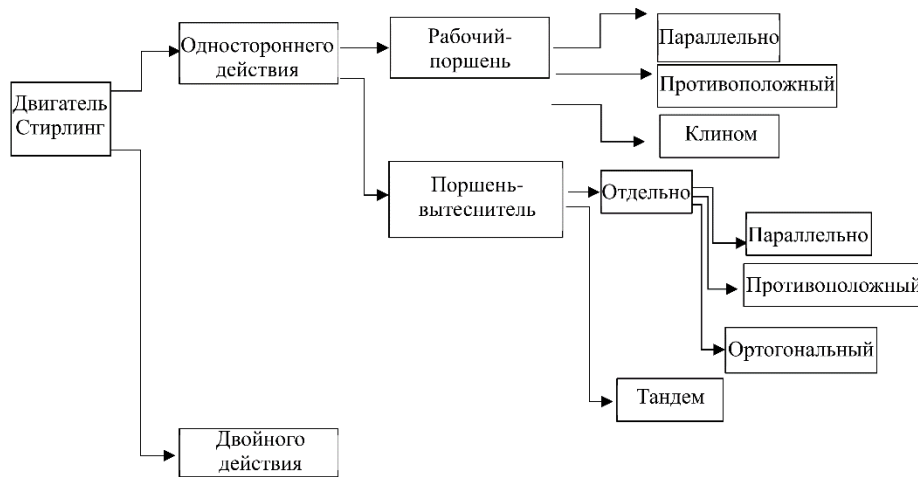


Рисунок 1.11 - Различия конструкций свободнопоршневых двигателей Стирлинг

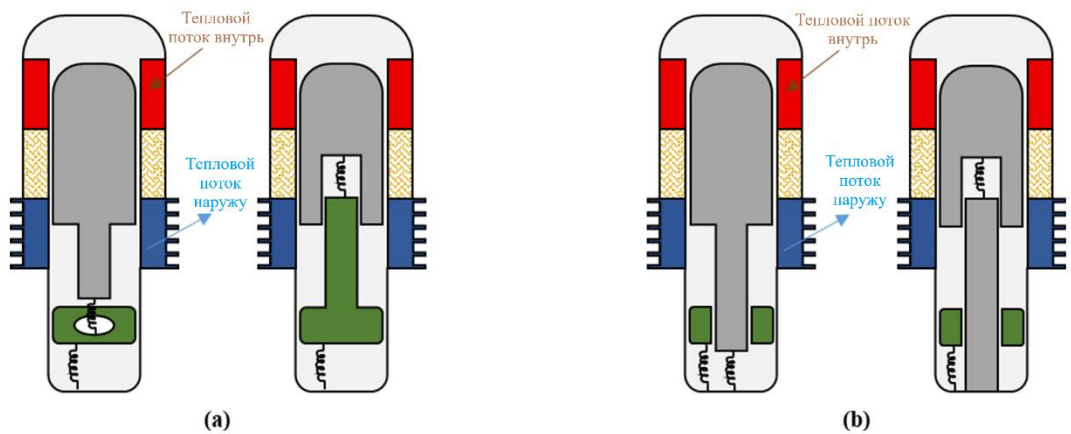


Рисунок 1.12 - Виды крепления поршней в свободнопоршневом двигателе Стирлинга

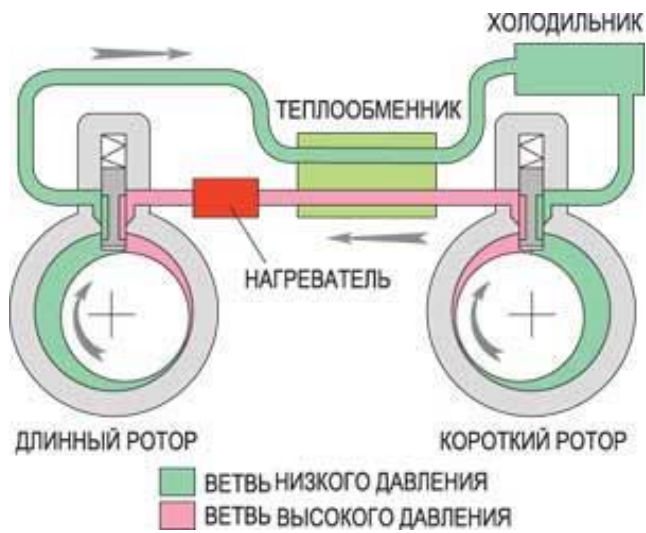


Рисунок 1.13 - Роторный двигатель Стирлинг

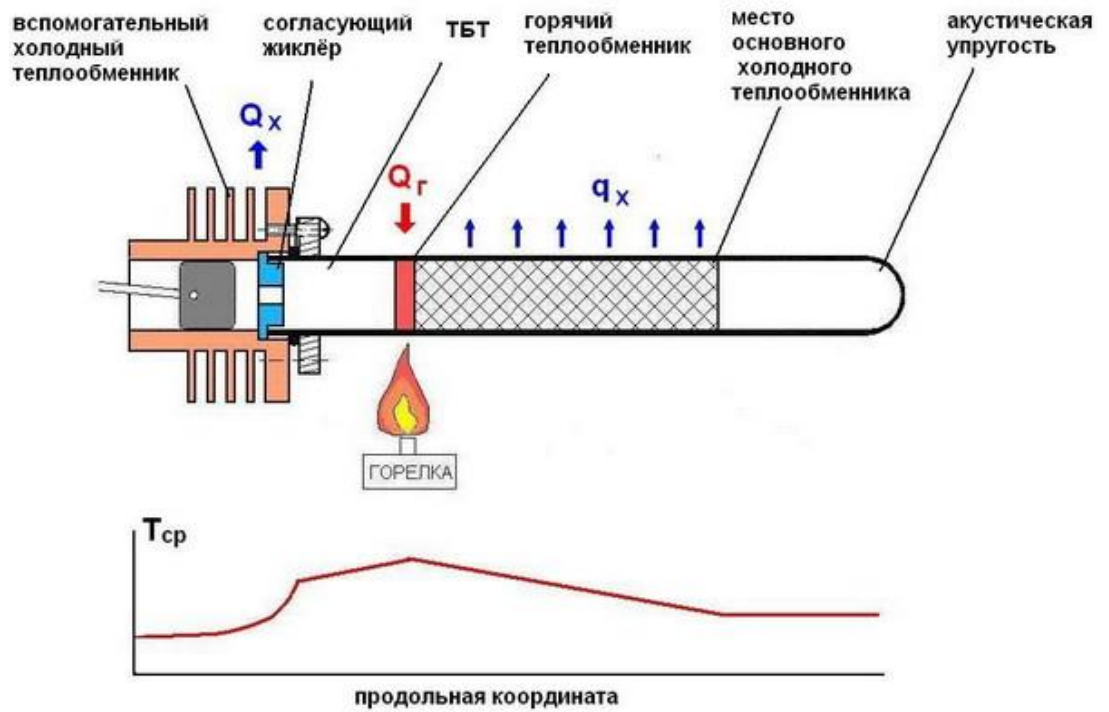


Рисунок 1.14 - Термоакустический двигатель Стирлинга

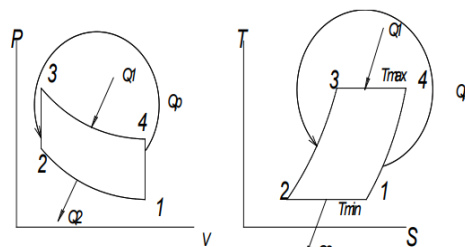


Рисунок 1.15 - P-V, T-S диаграммы цикла Стирлинга

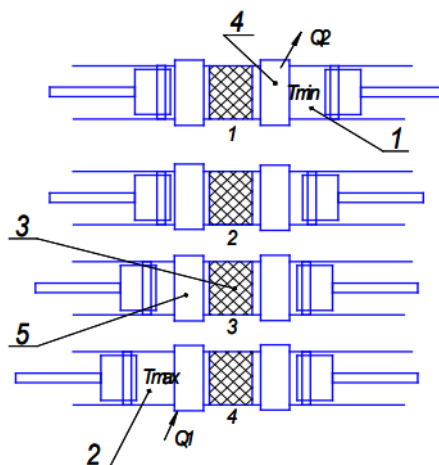
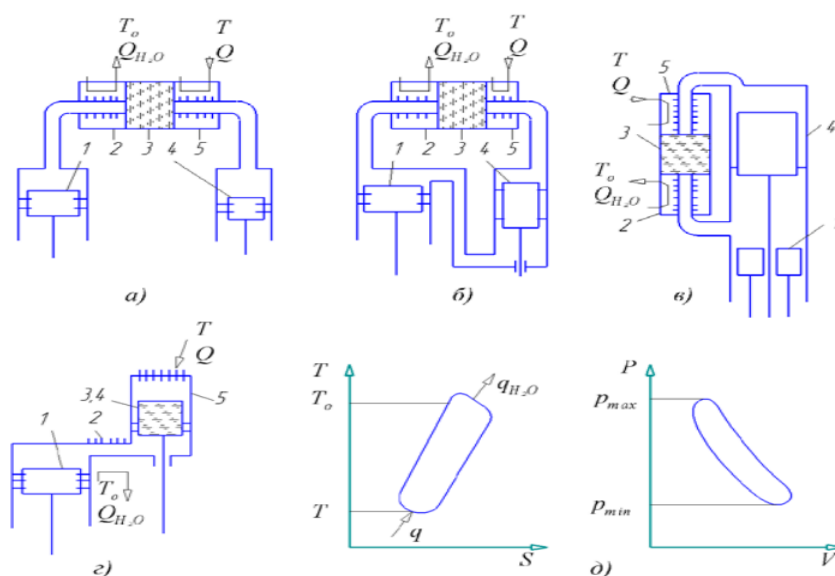


Рисунок 1.16 - Положение поршней в основных точках цикла Стирлинга



а – с двумя рабочими поршнями; б – с одним поршнем и поршнем-вытеснителем; в – с одним рабочим поршнем и поршнем вытеснителем, расположенными соосно; г – с одним поршнем и перемещающимся регенератором-вытеснителем; д – TS и PV диаграммы газовых холодильных машин, работающих по обратному циклу Стирлинга; 1 – «компрессорный» или рабочий поршень; 2 – водяной (или воздушный) холодильник; 3 – регенератор; 4 – «детандерный» поршень или вытеснитель; 5 – теплообменник для снятия нагрузки (охладитель).

Рисунок 1.17 - Кинематические схемы (а – г) и диаграммы (д) газовых холодильных машин, работающих по обратному циклу Стирлинга

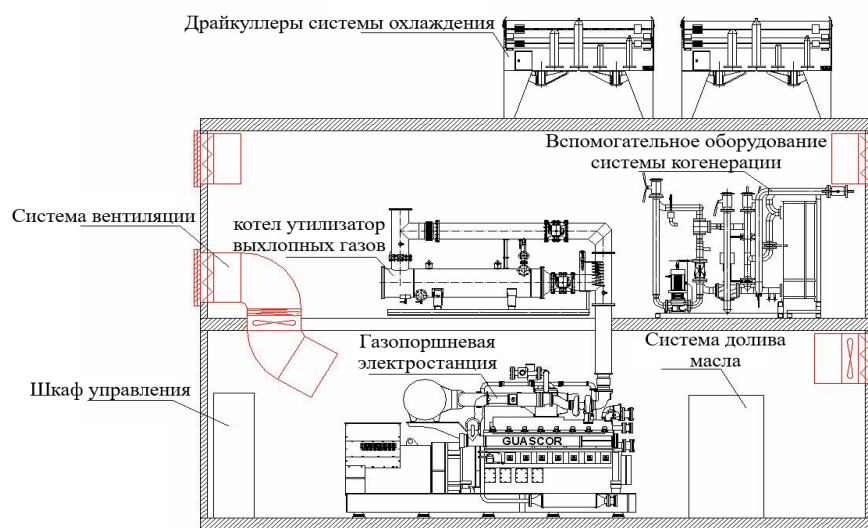


Рисунок 1.18 - Стандартная схема мини-ТЭЦ



Рисунок 1.19 - основные виды мини-ТЭЦ



Рисунок 1.20 - пример передвижной мини-ТЭЦ

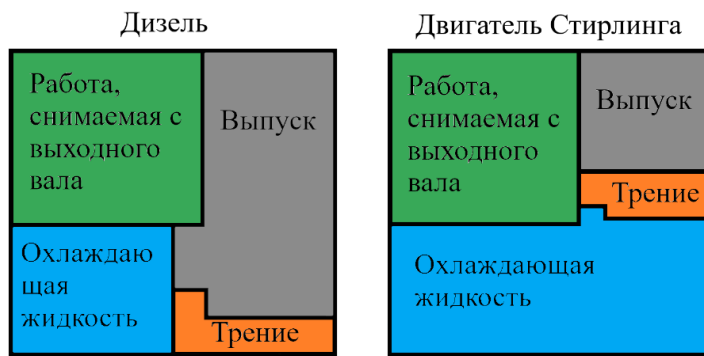


Рисунок 2.1 - Сравнение структур энергетического баланса двигателя Стирлинга и дизельного двигателя

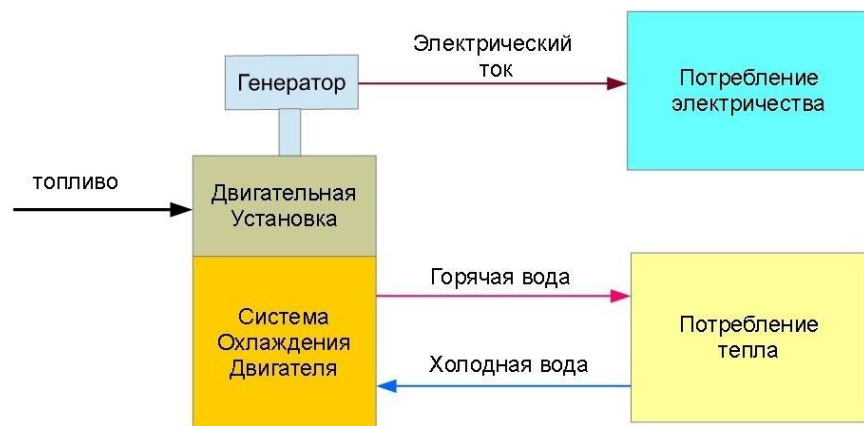


Рисунок 2.2 - Схема когенерации

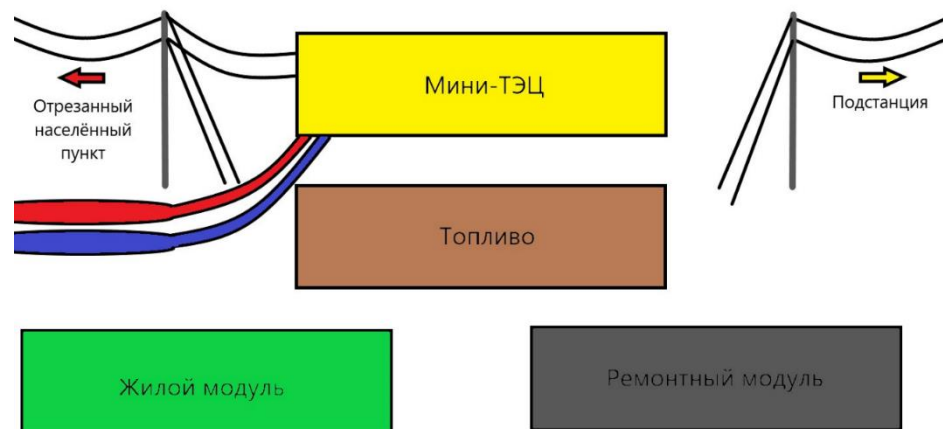


Рисунок 2.3 - Полная схема мини-ТЭЦ для чрезвычайных ситуаций

Таблица 2.1 - Сравнение двигателей Стирлинга [12,13,14,15]

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

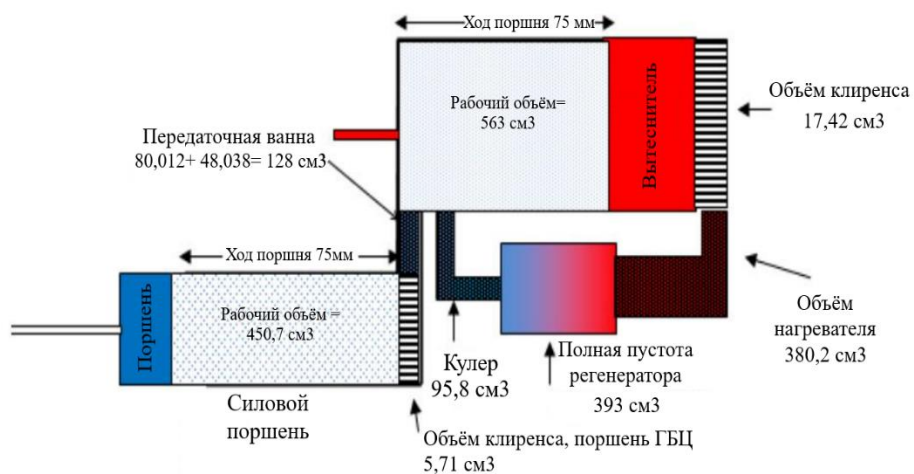


Рисунок 2.4

- Схема двигателя Стирлинга V2-6

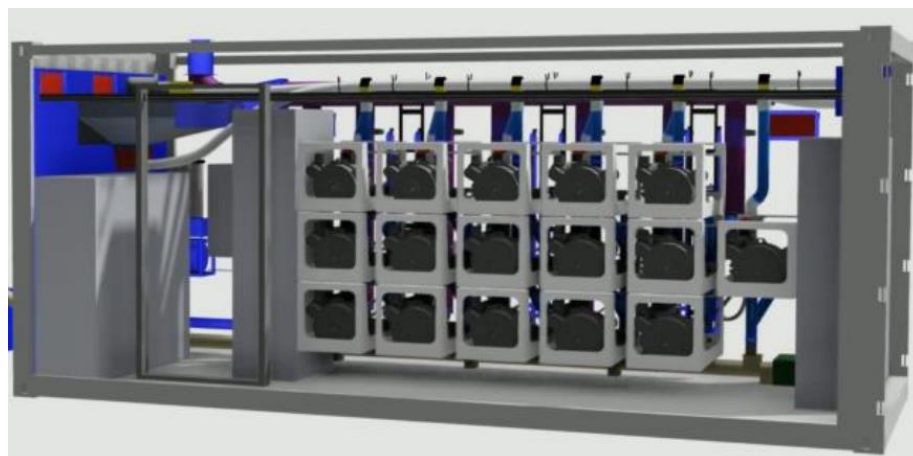


Рисунок 2.5 - Пример контейнерной мини-ТЭЦ с двигателем V2-6



Рисунок 2.6 - Тягач МЗКТ-652760-220

Таблица 2.2 - 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



Рисунок 2.7 - Инфографика потребления электроэнергии

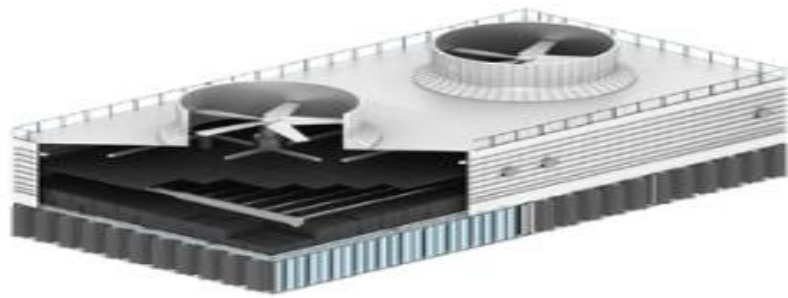


Рисунок 2.8 - Многосекционные вентиляторные градирни



Рисунок 2.9 - Мягкое отопительное устройство для чрезвычайных ситуаций



Рисунок 2.10- Наша модель мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга

Таблица 2.3 - Сравнение видов топлива для мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга[19]

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