



Перспективные
технологии
централизованног
о
теплоснабжения

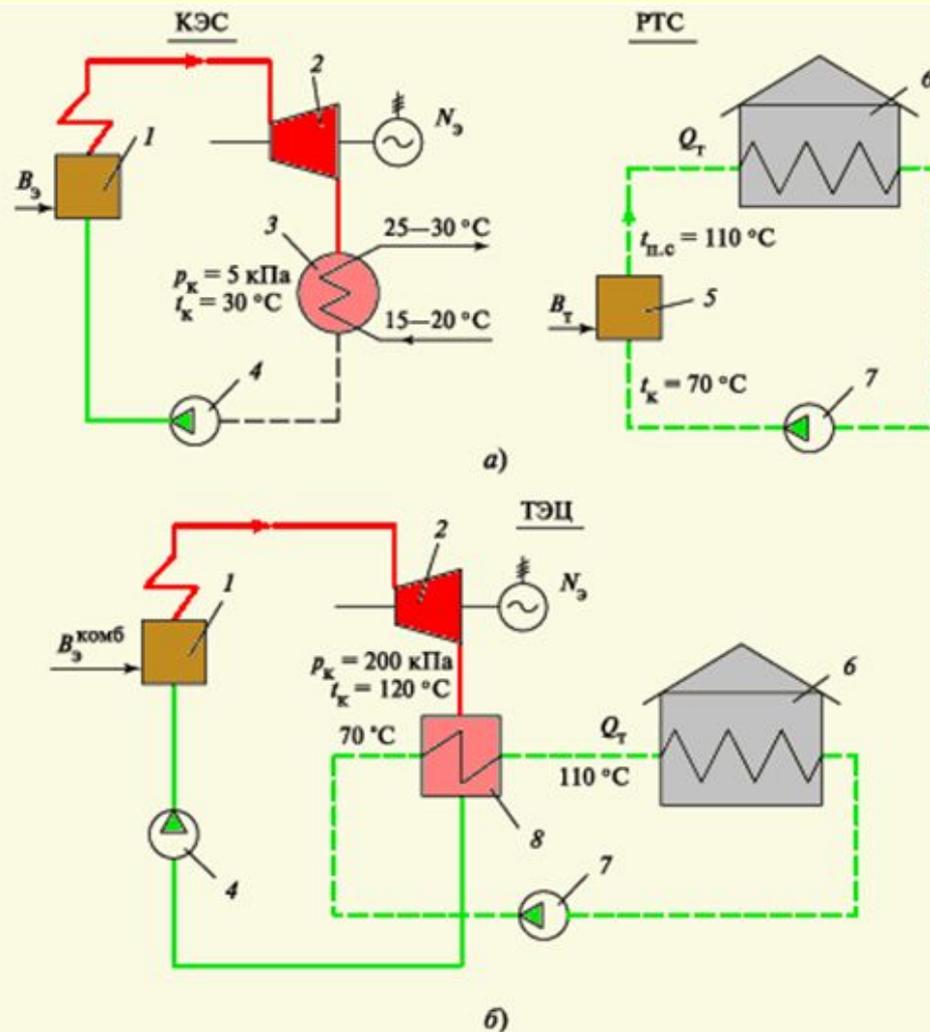


Рис. 3.9. Схемы раздельной (а) и комбинированной (б) выработки тепла и электроэнергии:

- 1 — энергетический котёл; 2 — паровая турбина; 3 — конденсатор;
 4 — питательный насос; 5 — водогрейный котёл; 6 — потребитель тепла;
 7 — сетевой насос; 8 — сетевой подогреватель

Когенерация – (название образовано от слов КОмбинированная ГЕНЕРАЦИЯ электроэнергии и тепла) – процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии. В советской технической литературе распространён термин **теплофикация** – централизованное теплоснабжение на базе комбинированного производства электроэнергии и тепла на теплоэлектроцентралях. Когенерация широко используется в энергетике, например на ТЭЦ (теплоэлектроцентралях), где рабочее тепло после использования в выработке электроэнергии, применяется для нужд теплоснабжения. Тем самым значительно повышается КПД – до 90 % и даже выше.

Смысл когенерации в том, что при прямой выработке электрической энергией, создаётся возможность утилизировать попутное тепло.

Когенерационные установки (когенераторы) широко используются в малой энергетике (мини-ТЭЦ). Для этого есть следующие причины:

- тепло используется непосредственно в месте получения, а это обходится гораздо дешевле, чем строительство и эксплуатация многокилометровых теплотрасс;
- электричество используется большей частью в месте получения, в результате, без накладных расходов поставщиков энергии, его стоимость для потребителя может быть до 5 раз меньше, чем у энергии из сети;
- потребитель приобретает энергетическую независимость от сбоев в электроснабжении и аварий в системах теплоснабжения;
- использование когенерации наиболее выгодно для потребителей с постоянным потреблением электроэнергии и тепла. Для потребителей, у которых имеются ярко выраженные «пиковые нагрузки» (например, жилое хозяйство, ЖКХ) когенерация мало выгодна — из-за большой разницы между установленной и среднесуточной мощности окупаемость проекта значительно затягивается.

Тригенерация – это организация производства сразу трех видов энергий: электричества, тепла и холода. Получение первых двух есть когенерация (то есть первые две составляющие). Тригенерация является более выгодной по сравнению с когенерацией, поскольку даёт возможность эффективно использовать утилизированное тепло не только зимой для отопления, но и летом для кондиционирования помещений или для технологических нужд. Для этого используются абсорбционные бромистолитиевые холодильные установки. Такой подход позволяет использовать генерирующую установку круглый год, тем самым не снижая высокий КПД энергетической установки в летний период, когда потребность в вырабатываемом тепле снижается. В конце 2007 года к организации энергии японские инженеры подключили четвертую составляющую - солнечные батареи и провели опыты в на одном из высотных зданий мегаполиса.

Раздельное производство электроэнергии и тепла

	<p>Общая эффективность</p> $\text{КПД} = \frac{29 + 78}{200} = 53,5\%$
---	--

Когенерация

	$\text{КПД} = \frac{42+46}{100} = 88\%$
---	---

**Выработка на собственной мини-ТЭЦ
мини-электростанции с выработкой
тепла)**

**Приобретение энергии согласно тарифам
(Московская область)**

Себестоимость электроэнергии*:
0,32 руб./кВт*ч

Стоимость электроэнергии (Иные прочие
потребители - низкое напряжение)**:
1,9974 руб./кВт*ч

Себестоимость теплоэнергии
(средневзвешенная)*: 330,24 руб./Гкал
(0,28 руб./кВт*ч)

Стоимость тепловой энергии (Иные
потребители - горячая вода):
734,60 руб./Гкал (0,63 руб./кВт*ч)

Истратив 16 рублей получаем

25,00 кВт*ч электрической энергии

4,01 кВт*ч электрической энергии

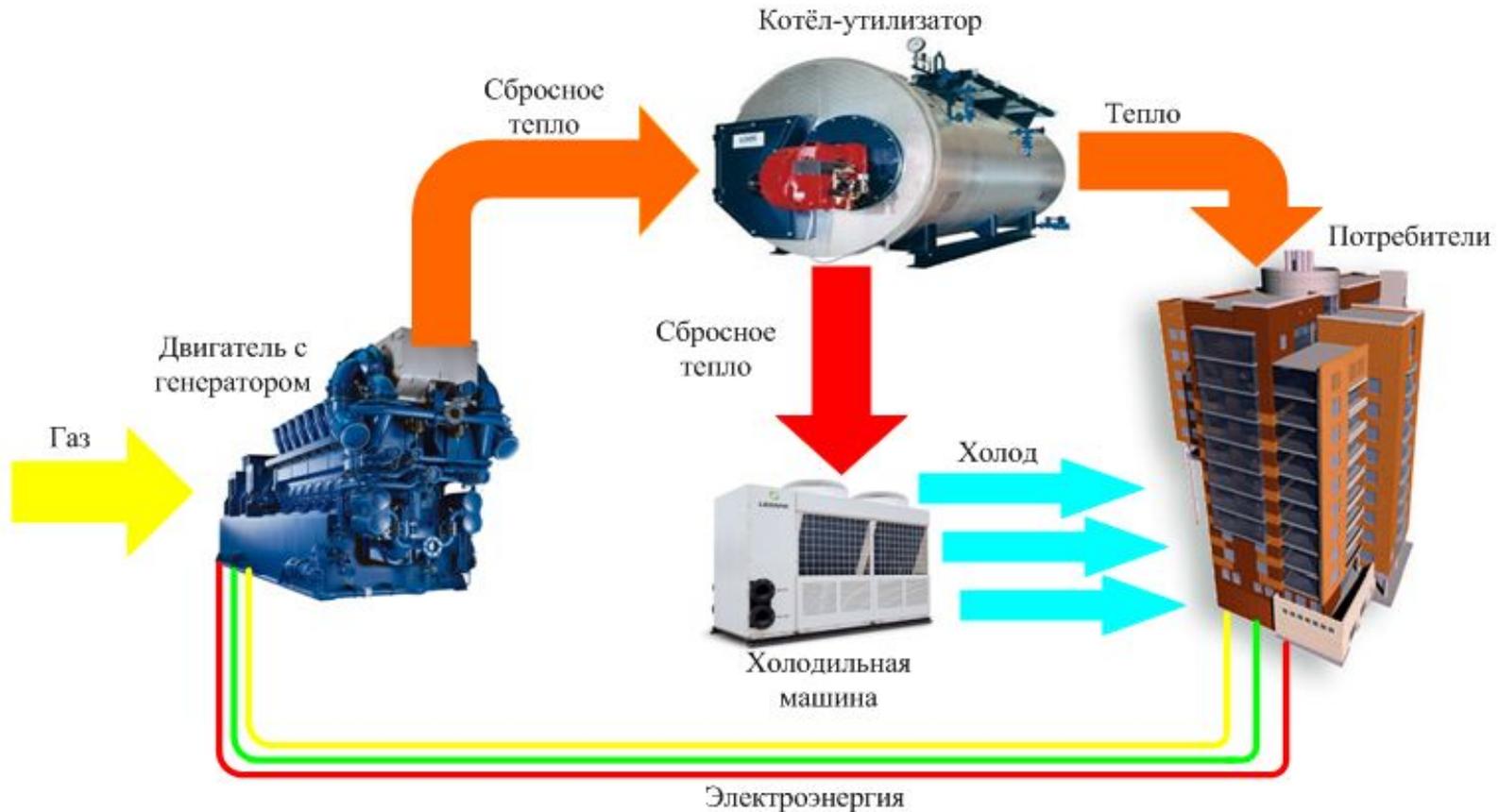
28,17 кВт*ч тепловой энергии

12,67 кВт*ч тепловой энергии

Из представленных материалов видно, что КПД когенераторов выше на 34,5 % и, как следствие, на 1 рубль затрат можно получить в 6 раз больше электрической энергии и в 2 раза больше тепловой энергии.



Типовая схема Мини-ТЭЦ



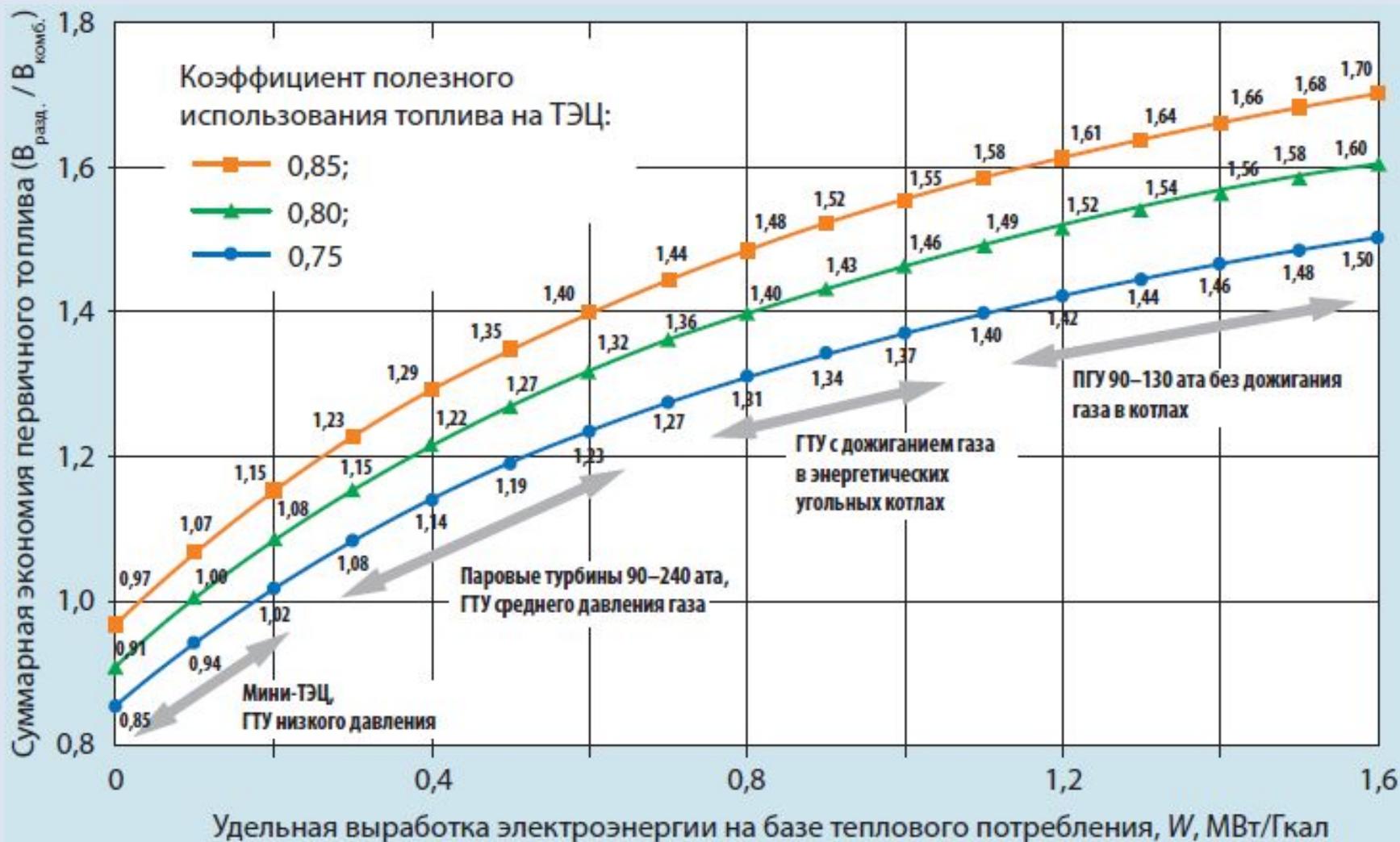
Мини-ТЭЦ (ТЭС) - это энергетическая система, собственный энергоблок, мощностью до 25 МВт. Основное назначение мини-ТЭЦ – выработка электрической и тепловой энергии (холода) из различных видов топлива.

Мини-ТЭС (ТЭЦ) обладают рядом достоинств, но отметим основные:

- ❖ **малые потери при транспортировке тепловой и электрической энергии по сравнению с системами централизованного тепло- и электроснабжения;**
- ❖ **автономность функционирования и возможность реализации в энергосистему излишков вырабатываемой электроэнергии;**
- ❖ **улучшение экономических показателей существующих котельных за счет выработки в них кроме тепловой дополнительно электрической энергии;**
- ❖ **повышение надежности теплоснабжения за счет собственного источника электроэнергии, независимость от тарифов и поставщиков электроэнергии;**
- ❖ **более низкая себестоимость тепловой и электрической энергии по сравнению с централизованными источниками энергии.**

Существуют следующие основные типы когенераторных установок (КУ): **энергоблоки на базе двигателей внутреннего сгорания (ГПА)**, **газотурбинные установки (ГТУ)** и **парогазовые установки (ПГУ)**. Система когенерации (или мини-ТЭС) состоит из четырех основных частей: первичный двигатель, электрогенератор, система утилизации теплоты, система контроля и управления. В зависимости от существующих требований в качестве первичного двигателя могут использоваться поршневой двигатель, газовая турбина, паровая турбина и комбинация паровой и газовой турбин. В будущем это также могут быть **двигатель Стирлинга** или **топливные элементы**.

Рисунок 1 – Топливосбережение при переходе на комбинированное производство электрической энергии на базе теплового потребления на ТЭЦ от раздельного производства электроэнергии на ГРЭС и тепловой энергии в котельной



На рис. 1 показана суммарная экономия первичного топлива при переходе на комбинированное производство электрической энергии на базе теплового потребления от отдельного производства электроэнергии на ГРЭС и тепла на котельных. Из рисунка можно видеть, какая технология обеспечивает максимальный эффект топливосбережения.

При коэффициенте полезного использования топлива (КПИТ) ТЭЦ, равном 80 %, сжигание газа в мини-ТЭЦ низкого давления с $W = 0,05 \div 0,15$ МВт/Гкал обеспечивает экономию первичного топлива в интервале 3÷8 % по сравнению с отдельным расходом топлива на ГРЭС и котельной. То есть экономии топлива практически нет. Особенно это актуально для ГТУ, работающих на низком давлении газа без компрессоров-«дожимников» 6÷13 ата или при частичной нагрузке (ниже 75÷80 % от номинальной электрической нагрузки).

Другое дело, когда повышаются параметры паросилового цикла ТЭЦ. Так, при достижении параметров пара до $90\div 240$ ата эффективность использования топлива повышается на $15\div 38$ % по сравнению с отдельным производством. Экономия становится ощутимой.

Но особенно заметна экономия первичного топлива при переходе на использование ПГУ высокого давления с котлами-утилизаторами 130 ата. Не случайно при строительстве ПГУ-410 на Краснодарской ТЭЦ особое внимание было уделено гарантиям по подаче газа на ГТУ с давлением до 55 ата. При этом W достигает уникально высокого значения – $1,75\div 1,85$ МВт/Гкал, а рост эффективности использования топлива соответственно $62\div 65$ % по сравнению с отдельным способом производства на существующих ГРЭС и ТЭЦ.

Электростанция на базе двигателя внутреннего сгорания представляет собой энергетическую установку, состоящую из двигателя, генератора, вырабатывающего электроэнергию, щита управления и контроля, а также распределительного устройства, которое может размещаться в диспетчерском помещении.

Электростанции могут работать на бензине, дизельном топливе, природном, попутном и биологическом газе. Кроме того, могут использоваться низкокалорийные газы, содержащие метан. *Например, газ мусорных свалок, шахтный газ.*

В зависимости от режима работы, электростанции подразделяются на **основные** и **резервные**. Основные электростанции обеспечивают объект электроэнергией непрерывно. Резервные электростанции запускаются в аварийной ситуации, например, при перебоях с основным электропитанием.

Для автономного энергоснабжения объектов применяются как дизельные, так и газовые электростанции. Дизельное топливо достаточно дорого, поэтому дизельные электростанции используются для постоянного энергоснабжения объектов только в тех случаях, когда к объекту невозможно подвести линию электропередачи или газопровод (*например, в Якутии или в горных районах Северного Кавказа*). Гораздо чаще дизельные электростанции используют в качестве резервных. Себестоимость 1 кВт·ч при выработке электроэнергии при помощи дизельных электростанций составляет 5÷7 рублей.

Себестоимость 1 кВт·ч при выработке электроэнергии при помощи газовых электростанций составляет 0,8÷1 руб., поэтому автономные газовые электростанции используются для постоянного энергоснабжения объектов. Их применение экономически выгодно даже в тех случаях, когда есть возможность подключить объект к внешней сети.

Во-первых, на этапе строительства объекта отпадает необходимость прокладывать электрический кабель и строить новые трансформаторные подстанции (газопровод на серьёзный объект подводится в любом случае). Кроме того, не требуется подводить теплотрассы, строить новые и реконструировать старые котельные.

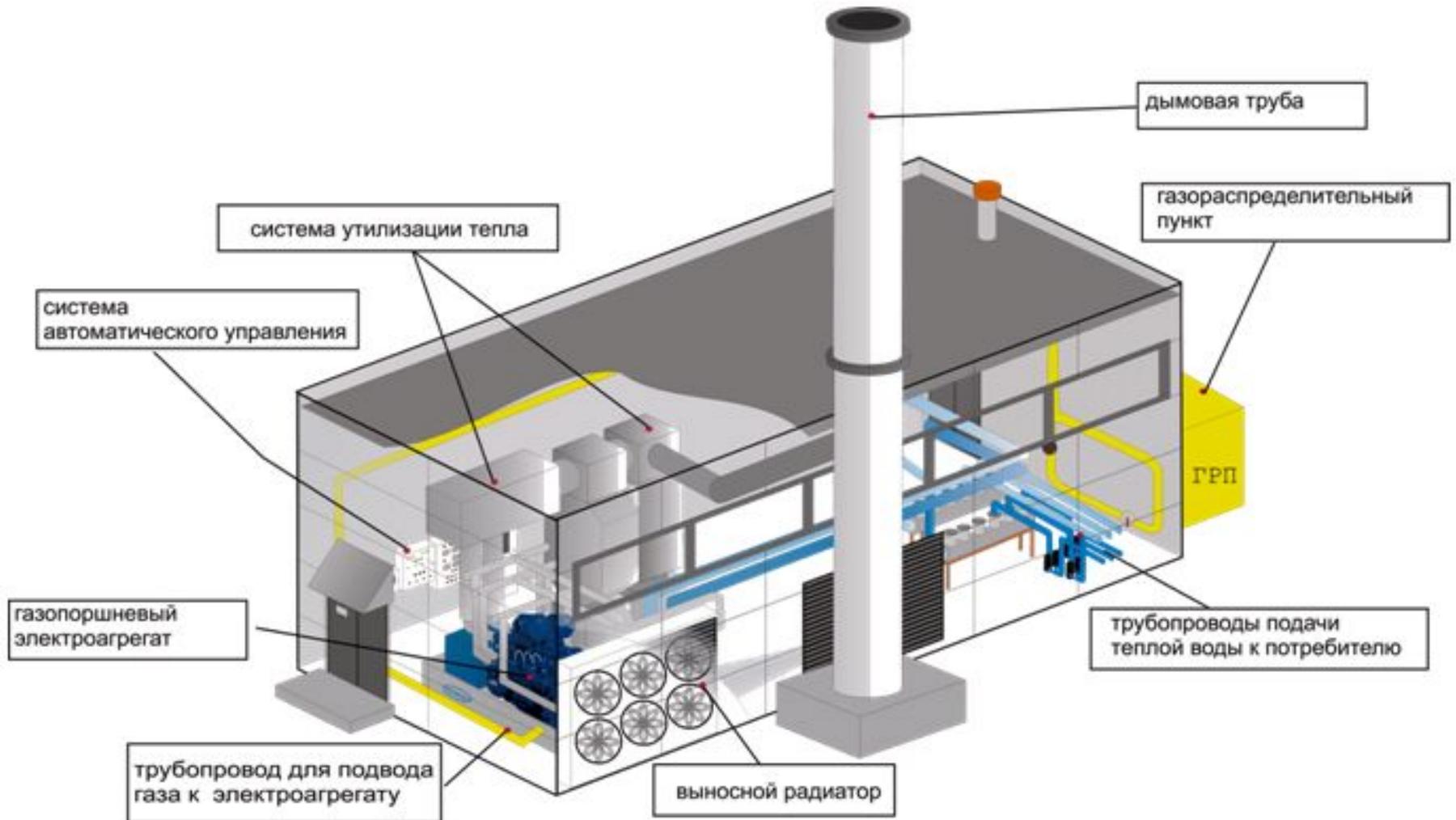
Во-вторых, на этапе эксплуатации объекта себестоимость автономного производства электроэнергии в два-три раза дешевле тарифов местных энергетических компаний. Это позволяет ежегодно экономить миллионы рублей.

В результате газовая электростанция окупается за два-три года эксплуатации. С учетом значительного снижения затрат на подключение объекта к электрическим и тепловым сетям срок окупаемости может быть и менее одного года.

Мини-ТЭЦ на базе газопоршневых агрегатов



Схема мини-ТЭЦ

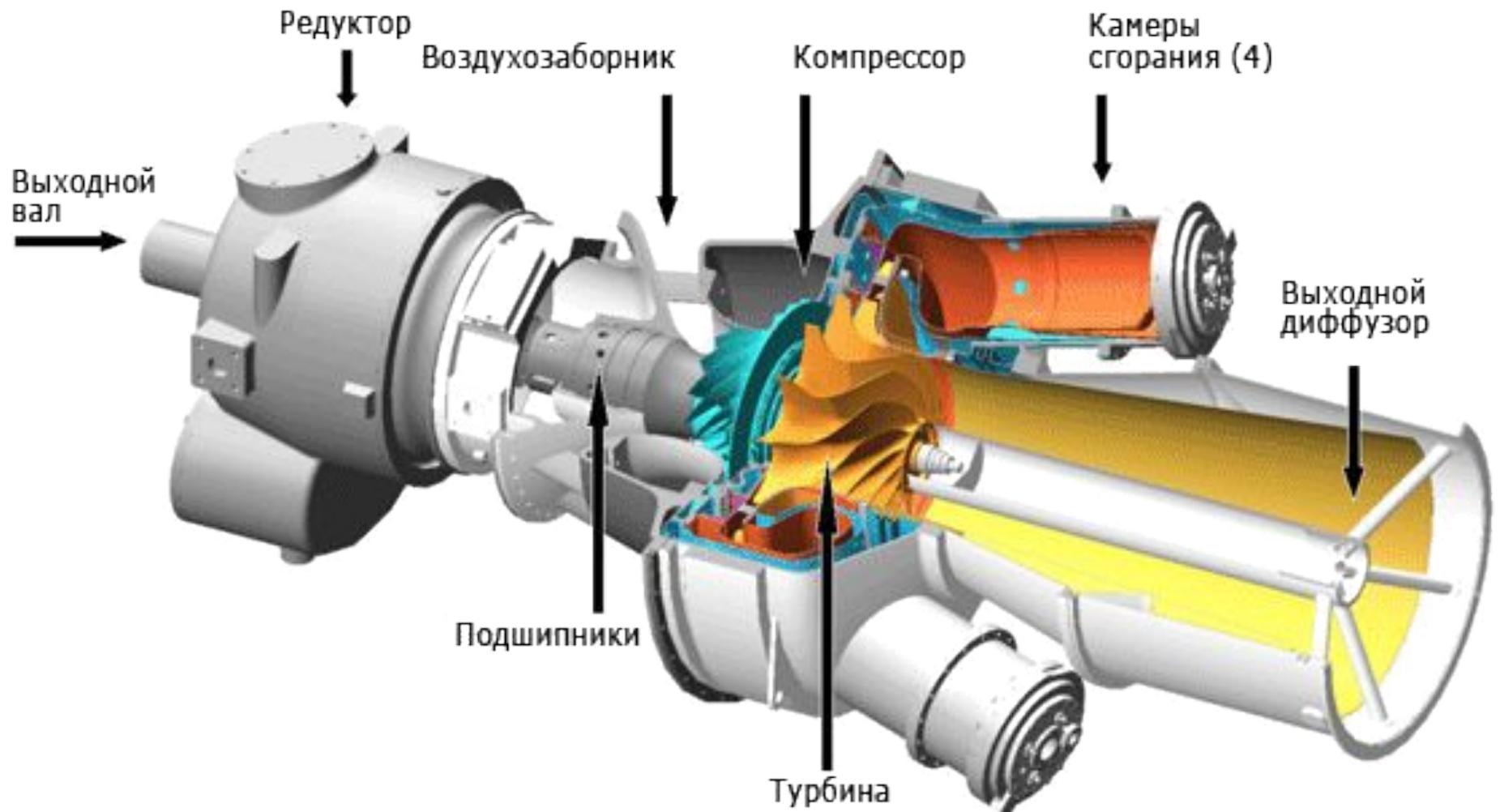


В зависимости от типа двигателя газовые когенерационные установки подразделяются на газотурбинные или

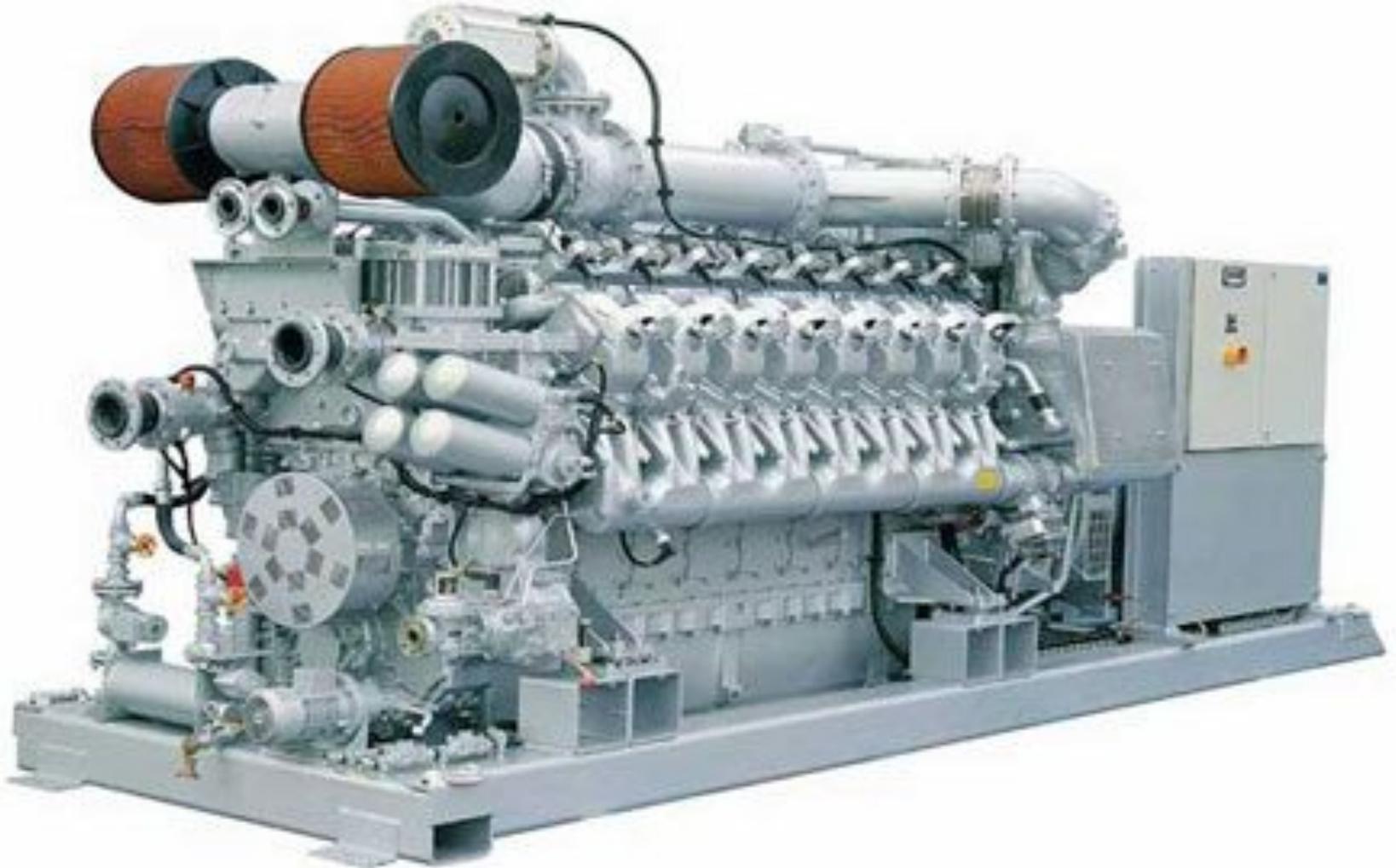
газопоршневые

В газотурбинной установке (ГТУ) в качестве двигателя используется газовая турбина.

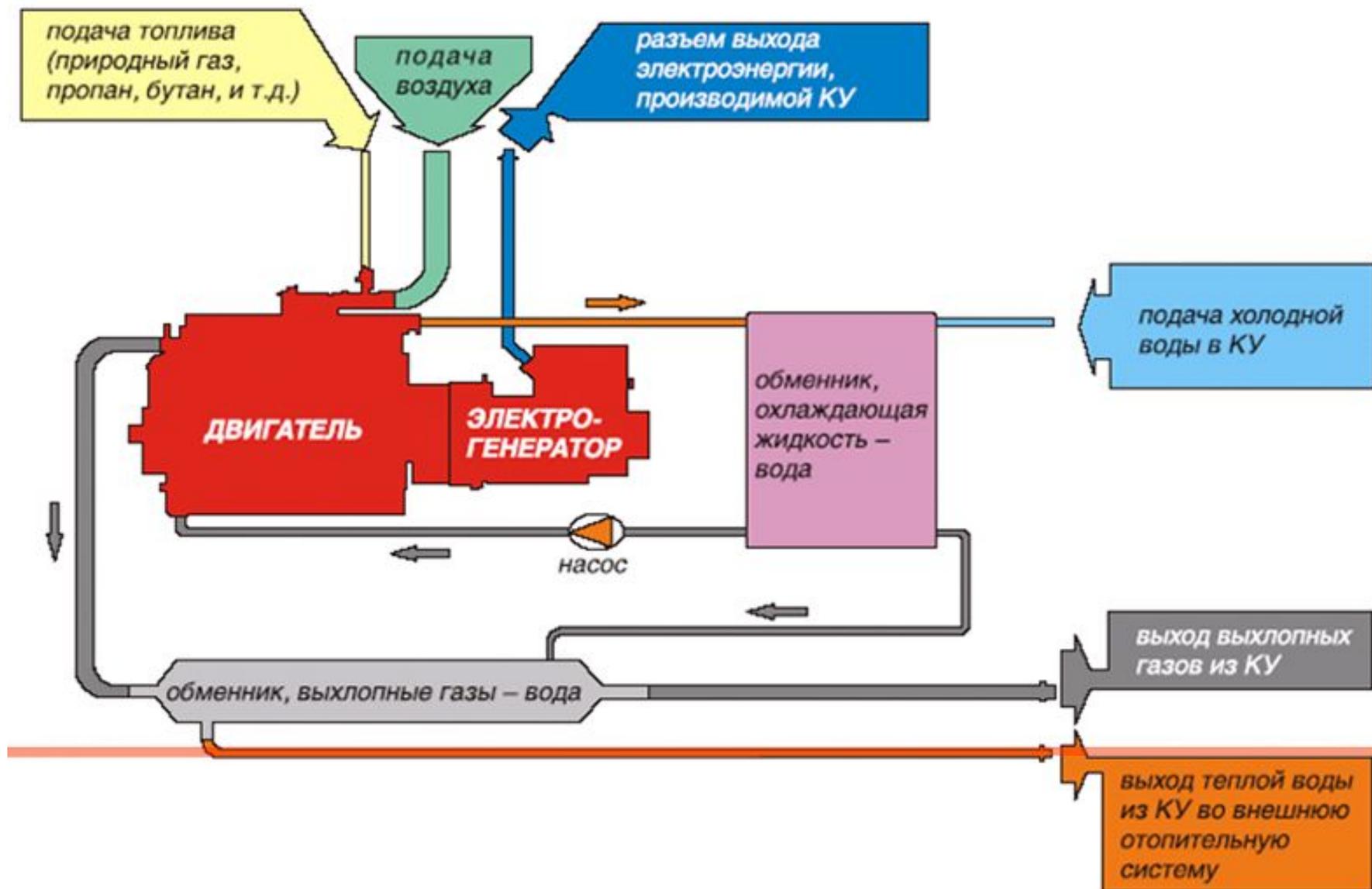




В газопоршневых установках (ГПУ) используют специальные поршневые двигатели, работающие на природном газе. Обычно эти двигатели разрабатываются на базе транспортных дизелей (автомобильных, тракторных, локомотивных, судовых). Иногда ГПУ называют "газопоршневыми агрегатами" (ГПА), но чаще используется терм

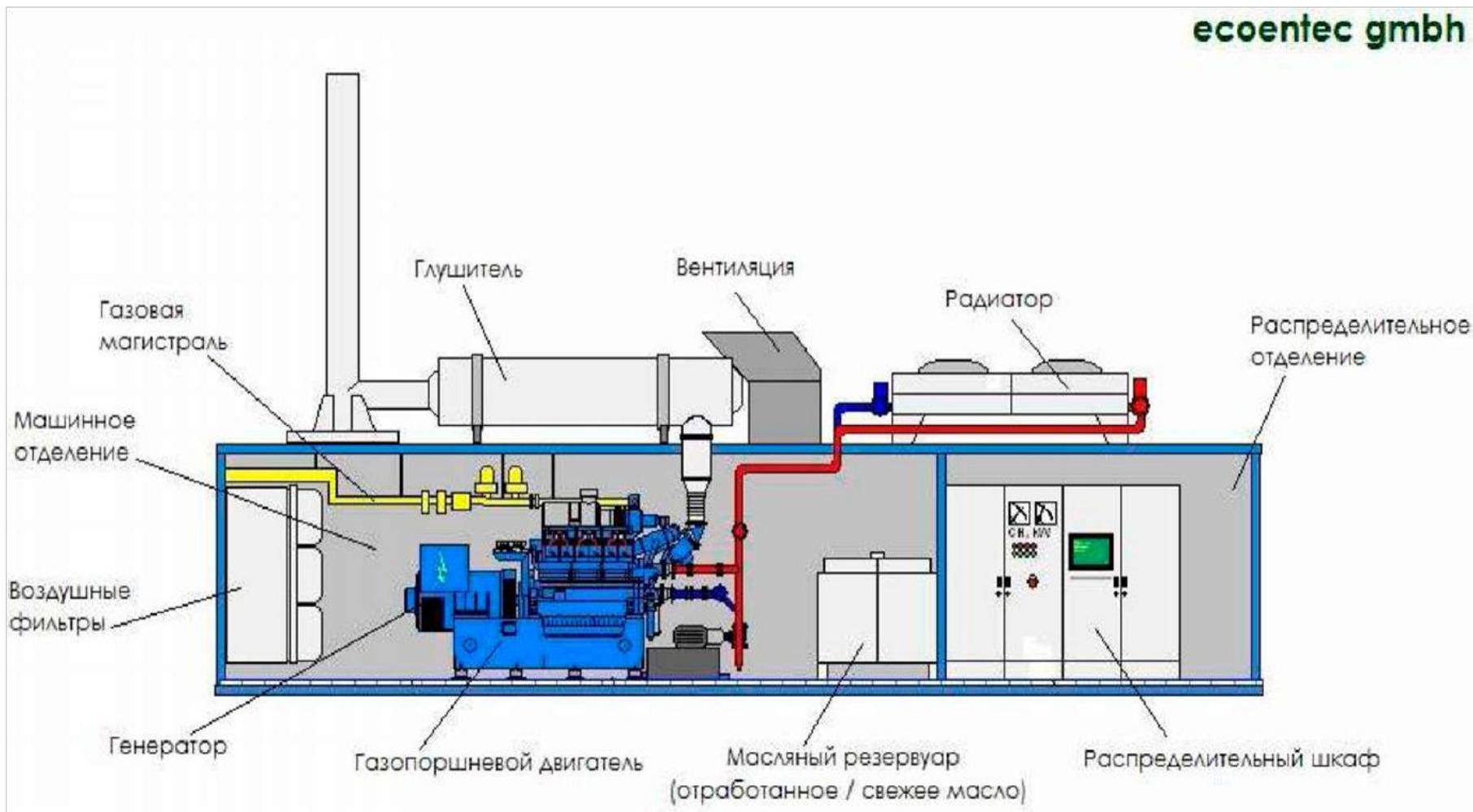






Основные узлы газопоршневой мини-ТЭЦ

eocoentec gmbh



1. Контейнер

Стальной контейнер предназначен для размещения и монтажа всех элементов установки. Внутренние стены стального контейнера изолированы плитами из минерального волокна (в соответствии со стандартом DIN 4102 / A2 не горючего) и обшиты оцинкованным перфорированным стальным листом.

Машинное отделение

В машинном отделении устанавливается моторно-генераторный модуль, а так же периферийное оборудование, необходимое для эксплуатации установки.

Распределительное отделение

Отделение распределительного устройства включает в себя распределительный шкаф для осуществления управления установкой и ее регулирования в целом.

2. Газопоршневой двигатель

Газопоршневой двигатель предназначен для приведения во вращение вала генератора.

3. Электрический генератор

Генератор предназначен для преобразования механической энергии в электрическую. Для упрощения производства и инсталляции оборудования газовый двигатель и генератор объединяются в единый модуль.

4. Система теплообменников

Система теплообменников предназначена для утилизации теплоты, выделяющейся при работе газового двигателя. Тепловая энергия снимается с системы охлаждения двигателя и с системы отвода отходящих газов. Далее теплота отдаётся в систему отопления и горячего водоснабжения объекта или используется в установке-ORC для выработки электроэнергии из теплоты.

5. Насосы для подачи охлаждающей воды

Управление насосами водяного охлаждения двигателя, охлаждения газозоудшной смеси, а так же охлаждения масла осуществляется системой управления блока ТЭЦ.

6. Система принудительного охлаждения

На некоторых объектах газопоршневая мини-ТЭЦ вырабатывает больше теплоты, чем необходимо для отопления и водоснабжения. Особенно это характерно для летнего периода эксплуатации. В этом случае излишки теплоты отводятся от двигателя и выбрасываются в атмосферу с помощью системы принудительного охлаждения. Конструктивно система принудительного охлаждения подобна обычному автомобильному радиатору, только больших размеров. Обычно система принудительного охлаждения устанавливается на крышах зданий или контейнеров, в которых смонтирована мини-ТЭЦ.

7. Система отвода отходящих газов

Газ является самым экологически чистым видом топлива. Он загрязняет атмосферу гораздо меньше, чем уголь, бензин или дизельное топливо. Газопоршневые мини-ТЭЦ полностью соответствуют экологическим нормам ГОСТ и «TA Luft». Поэтому отходящие газы от газопоршневых мини-ТЭЦ можно отводить на высоту всего 3÷5 м (высота глушителя, установленного на контейнере).

8. Система автоматики, управления и контроля

Работа газопоршневых мини-ТЭЦ полностью автоматизирована и не требует постоянного присутствия оператора непосредственно рядом с оборудованием. На экран компьютера выводятся показания всех параметров, характеризующих работу мини-ТЭЦ. При необходимости автономный энергетический центр может быть подключен к интернету для дистанционного мониторинга его работы. По требованию заказчика газопоршневая мини-ТЭЦ может быть оснащена контроллером, обеспечивающим работу параллельно с внешней сетью.

9. Газоснабжение

Для подачи топливной смеси на газовый двигатель используется устройство регулирования подачи газа, которое, если рассматривать его по направлению потока, состоит из следующих конструктивных элементов:

- Входное фланцевое соединение, на внешней стороне контейнера, с электромеханическим клапаном аварийного выключения.
- Трубопровод.
- Запорная арматура.
- Газовый фильтр.
- 2 электромагнитных клапана с устройством контроля минимального значения давления.
- Предохранительное устройство проскока пламени с устройством контроля температуры.
- Регулятор нулевого значения давления.
- Эластичное соединение.

10. Система подачи смазочного масла

Газовый двигатель оснащен циркуляционной системой смазки под давлением для подачи смазочного масла на все элементы агрегата. С помощью циркуляционного насоса смазочное масло закачивается из бака в контур циркуляции масла двигателя. В случае переполнения контура смазочного масла, избыток масла через перепускное устройство попадает обратно в дополнительный бак.

В машинном отделении находится дополнительный резервуар для хранения свежего масла объемом 1000÷1200 литров и резервуар отработанного масла такого же объёма. С помощью насоса использованное моторное масло из двигателя и дополнительного бака может перекачиваться в резервуар для хранения отработанного масла, равно как свежее масло с помощью насоса может перекачиваться из резервуара для его хранения в дополнительный бак и в двигатель.

11. Приточно-вытяжная вентиляция

Для обеспечения двигателя воздухом машинное отделение оснащается принудительной вентиляцией. Вытяжные вентиляторы создают в машинном отделении пониженное давление, свежий воздух поступает в машинное отделение через шумопоглотитель кулисного типа, и распространяется внутри отделения, обтекая генератор и двигатель. Отработанный воздух через вентиляционное отделение выводится обратно во внешнюю среду.

12. Предохранительное оборудование установки

В машинном отделении и в отделении распределительного устройства предусмотрены аварийные выключатели, которые приводят в действие аварийную цепь.

Как в машинном отделении, так и в отделении распределительного устройства устанавливается сигнализатор дыма, который в случае срабатывания сигнализации отключает модуль и закрывает клапан аварийного отключения. Дополнительно включаются визуальная и звуковая сигнализация.

Газопоршневые мини-ТЭЦ предназначены для автономного энергоснабжения объектов с целью значительного снижения затрат на электроэнергию и теплоту. Обычный срок окупаемости газопоршневой мини-ТЭЦ – 2÷3 года (*зависит от конкретных условий на объекте*). Примерная стоимость оборудования за 1 кВт эл. установленной мощности – 600÷1500 евро (*цены на газопоршневые электростанции зависят от исполнения установок*). На мощностях до 12÷16 МВт газопоршневые мини-ТЭЦ экономически более эффективны, чем газотурбинные установки аналогичной мощности.

В последние годы признается эффективным создание мини-ТЭЦ на базе двигателей внутреннего сгорания для электрификации и отопления производственных объектов и жилых комплексов. Это объясняется тем, что КПД поршневых машин выше и составляет 36÷45 %, а газовых турбин – 25÷34 %.

Кроме того, установка газовых турбин требует высоких давлений газа (до 2,5 МПа), в то время как газопоршневые установки работают с низким давлением и им не требуется установка газодожимного компрессора.

Мини-ТЭЦ на базе двигателей внутреннего сгорания способны работать на различных видах топлива: природном газе, промышленном (коксовом, биогазе, шахтном), дизельном топливе, бензине. По данным исследований, при единичных мощностях менее 3,5 МВт наиболее целесообразно применение поршневых машин. Удельный расход топлива на выработанный кВт·ч меньше у газопоршневых генераторных установок, причем при любом нагрузочном режиме.

Факторы экономической эффективности газопоршневых мини-ТЭЦ:

1. Относительно небольшая себестоимость автономного производства электроэнергии. Природный газ в России достаточно дешевый, а газопоршневые мини-ТЭЦ имеют высокий электрический КПД (35÷42 %). Поэтому себестоимость автономного производства электроэнергии в 2÷3 раза дешевле, чем тарифы местных энергетических компаний.

2. Снижение затрат на коммуникации. При строительстве новых объектов отпадает необходимость платить за подключение к внешней электрической сети и прокладывать теплотрассу. Для старых объектов отпадает необходимость в постоянном ремонте имеющихся теплотрасс.

3. Использование теплоты. В когенераторных установках утилизируется теплота, выделяющаяся при производстве электроэнергии. Тепловой КПД газопоршневых мини-ТЭЦ составляет 47÷52 %. Эта теплота может быть использовано в технологических целях (в том числе и в виде пара), на отопление и горячее водоснабжение. Кроме того, теплота может быть абсорбирована с целью получения охлажденной воды.

Существуют два возможных режима работы когенераторной установки (КУ):

1. Автономный (островной). Газопоршневая мини-ТЭЦ полностью покрывает потребности объекта в электроэнергии и теплоте. Объект не подключен к внешним тепло- и электросетям.

2. Параллельно с внешней электрической сетью. Потребности объекта в электроэнергии частично или полностью покрываются за счёт работы газопоршневой мини-ТЭЦ. Пиковые электрические нагрузки покрываются за счет отбора дополнительной электроэнергии из внешней сети. Кроме того, внешняя сеть является резервной на период проведения планового технического обслуживания мини-ТЭЦ. По требованию заказчика мини-ТЭЦ устанавливаются в звукоизолированных контейнерах или кожухах, которые обеспечивают полное шумоглушение: можно

Основные варианты исполнения газопоршневых мини-ТЭЦ:

1. Модульное (цеховое) исполнение для размещения внутри помещений. Возможна установка кожуха, обеспечивающего шумоглушение.

2. Контейнерное исполнение для размещения вне помещений. Вместо контейнера может быть использован кожух. Контейнеры и кожухи обеспечивают шумоглушение и теплоизоляцию согласно условиям эксплуатации оборудования.

Блочные газопоршневые мини-ТЭЦ





Современные мини-ТЭЦ удовлетворяют всем экологическим нормам, поскольку природный газ является самым чистым видом топлива.

Количество теплоты, вырабатываемой газопоршневой мини-ТЭЦ, зависит от электрической нагрузки. При снижении электрической нагрузки (например, ночью) снижается и объем утилизируемой теплоты. Поэтому газопоршневая мини-ТЭЦ не всегда полностью покрывает потребности объекта в тепле. В этой ситуации пиковые тепловые нагрузки покрываются за счет установленного на объекте газового водогрейного котла.

Для автономного энергоснабжения объекта создается энергетический комплекс, состоящий из нескольких газопоршневых мини-ТЭЦ. Их количество и мощность определяются в зависимости от потребностей каждого конкретного объекта. При необходимости газопоршневые мини-ТЭЦ могут быть дополнены газовыми тепловыми котлами.

Достоинства и особенности применения ГПА:

- наиболее низкий уровень выбросов оксидов азота, который можно устранить полностью при работе ДВС на богатой смеси с последующим дожиганием продуктов сгорания в котле;
- более высокий, по сравнению с ГТУ, ресурс работы, достигающий 150÷200 тыс. час;
- наиболее низкий уровень капитальных затрат и эксплуатационных расходов на производство энергии;
- простота перехода с одного вида топлива на другой.

Недостатки ГПА:

К недостаткам следует отнести малый ресурс, большие эксплуатационные расходы, связанные с необходимостью периодической замены головок цилиндров, а также значительные затраты на охлаждение ГПА, особенно если отводимое тепло не используется в дальнейшем (нет когенерации).

ГПА не рекомендуется применять при потребности в получении большого количества теплоносителя с температурой более 110 °С, при большой потребляемой мощности, а также при ограниченном числе пусков.

К недостаткам ГПА, существенно ограничивающими возможность их применения следует отнести:

- Неспособность снижать нагрузку ниже 40 % от максимальной паспортной на длительный период, неспособность обеспечивать значительное скачкообразное изменение нагрузки (наброс или сброс) с сохранением качества вырабатываемой электроэнергии.
- Плохие экологические показатели, высокие уровни шума и вибраций.
- Необходимость постоянного обслуживания и установки дополнительного блока охлаждения.

ГПА работают в двух основных режимах:

- номинальный режим – режим максимальной нагрузки и скорости в течение 24 час. в сутки на протяжении года с остановкой на плановое обслуживание; работа с перегрузкой в 10 % возможна в течение 2-х час. в сутки;

- резервный режим – круглосуточная работа без перегрузки в период простоя основного источника энергии.

В итоге можно сделать следующий вывод – дизельные установки применимы только как резервные, а ГПА рассчитаны исключительно на устоявшийся режим работы в диапазоне 70÷-90 % мощности с плавным медленным изменением нагрузки (связано это прежде всего с тепловым режимом работы двигателя - физические процессы). *Применение ГПА оказывается экономически выгодным только в случае наличия постоянной круглосуточной нагрузки и при условии плавного изменения нагрузки.*

ГАЗОТУРБИННЫЕ МИНИ-ТЭЦ

Газовые турбины находят широкое применение в производстве электроэнергии. Электрический КПД больших установок составляет 35÷38 %, характеристики при частичной нагрузке скорее неудовлетворительные. Большой срок службы, очень незначительные инвестиционные затраты в широком диапазоне мощностей, большая доля пригодной для использования энергии уходящих газов и очень небольшая эмиссия вследствие непрерывного горения являются достоинствами этой технологии.

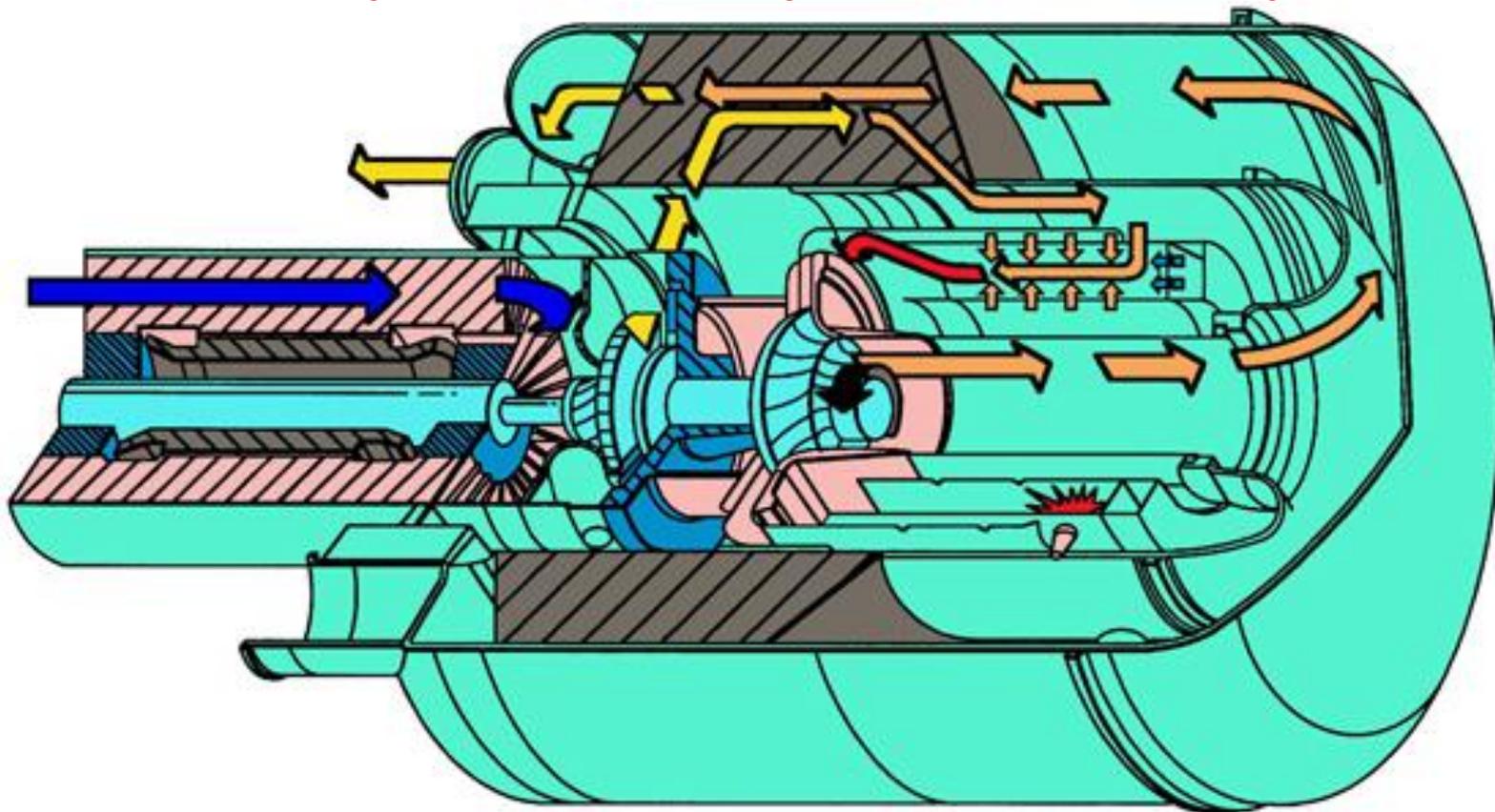


До настоящего времени было нецелесообразно применять турбины в диапазоне мощностей менее 500 кВт. Это стало возможным только в результате комбинации двух мероприятий: рекуперации и обратной подачи части объемного потока уходящего газа в компрессор с одной стороны и прямого присоединения генератора. В сочетании с независимым от скорости вращения инвертированием тока посредством силовой электроники достигаются наряду с приемлемыми показателями электрического КПД более 25 % и общего КПД более 70 % также хорошие показатели КПД при неполной нагрузке. Эти параметры имеют решающее значение для использования на небольших объектах.

Возможность получения большой мощности при небольших размерах и массе, высокая надежность и экономичности газотурбинных установок позволяют широко использовать их в промышленной энергетике. В частности на промышленных предприятиях их можно применять как для отдельной, так и комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, в качестве источников питания, для покрытия пиков нагрузок, в качестве надстроек на водогрейных котельных.



Газотурбинный двигатель (ГТД, ТРД) — это тепловой двигатель, в котором газ сжимается и нагревается, а затем энергия сжатого и нагретого газа преобразуется в механическую работу на валу газовой тур



В отличие от поршневого двигателя, в ГТД процессы происходят в потоке движущегося газа.

Атмосферный воздух последовательно проходит через систему фильтров, камеру всасывания и поступает в компрессор, где он сжимается и под давлением поступает в камеру сгорания, туда же подаётся топливо, которое, сгорая, образует большое количество продуктов сгорания под высоким давлением. Затем в газовой турбине энергия газообразных продуктов сгорания преобразуется в механическую работу за счёт вращения струёй газа лопаток, часть которой расходуется на сжатие воздуха в компрессоре.

Остальная часть работы передаётся на приводимый агрегат. Работа, потребляемая этим агрегатом, является полезной работой ГТД. Отработанные газы, уходят в выхлопную трубу и поступают в атмосферу, или же, в случае, если предусмотрена их утилизация, поступают в теплообменник или котел–утилизатор, утилизируясь в тепло для обогрева помещений. Газотурбинные двигатели имеют самую большую удельную мощность среди ДВС, до 6 кВт/кг.

В качестве топлива используется любое горючее, которое можно диспергировать: бензин, керосин, дизельное топливо, мазут, природный газ, судовое топливо, водяной газ, спирт и измельченный уголь. *Постоянная работа производится на газе, а в резервном (аварийном) режиме происходит автоматический переход на дизельное топливо.*

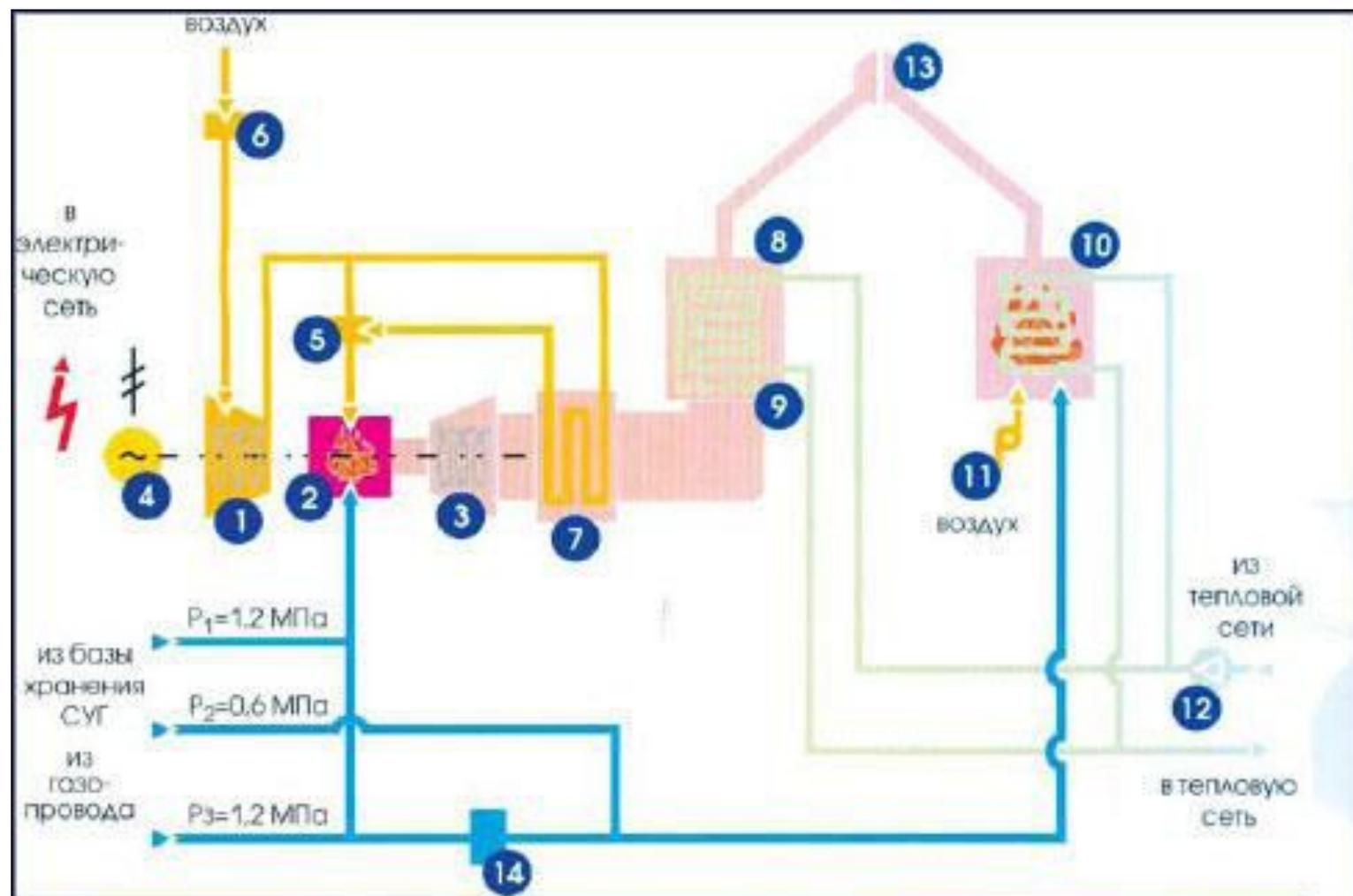
Оптимальный режим работы ГТУ — комбинированная выработка тепловой и электрической энергии. ГТУ производят гораздо большее количество тепловой энергии, чем газопоршневые агрегаты, и могут работать как в базовом режиме, так и для покрытия пиковых нагрузок.

Газотурбинные электростанции малой мощности представляют собой довольно компактные для данного вида оборудования стационарные установки, построенные по блочно-контейнерному принципу. Иными словами, составные части ГТЭС, соединенные вместе, позволяют не только вырабатывать электричество, но и утилизировать тепло, получаемое от отработанных газов.

Основным блоком газотурбинных электростанций является главный энергоблок, однако в зависимости от модели, они могут дополнительно компоноваться компрессором, теплообменником, позволяющим утилизировать вторичную энергию и перерабатывать её в тепло, установкой подготовки топливного газа и др. Также, ГТЭС может дополняться дизельным двигателем, который зачастую используется при её запуске.

Энергоблок газотурбинной мини-ТЭЦ
состоит из собственно газотурбинной
установки и генератора, который и
вырабатывает электроэнергию. Также
энергоблок оборудован различными
системами контроля и автоматической
регулировки работы всего блока, фильтрами,
блоками маслоснабжения и другими
компонентами.

Газотурбинные электростанции могут работать полностью автономно. В этом случае они оборудуются блоком автоматизации, который самостоятельно производит пуск, синхронизацию работы генератора и турбины, а также остальных систем, и осуществляет общий контроль за работой станции.



- | | | | |
|---|---------------------------------|----|------------------------------|
| 1 | компрессор | 8 | водогрейный котел-утилизатор |
| 2 | камера сгорания | 9 | газораспределительный клапан |
| 3 | газовая турбина | 10 | пиковый водогрейный котел |
| 4 | турбогенератор | 11 | вентилятор |
| 5 | воздухораспределительный клапан | 12 | сетевая насосная установка |
| 6 | КВОУ | 13 | труба дымовая многоствольная |
| 7 | регенератор | 14 | газорегулирующий пункт |

Рис. 1

Принцип работы газотурбинной мини-ТЭЦ

Атмосферный воздух через входное устройство КВОУ (комбинированное воздухообрабатывающее устройство) (6) поступает в компрессор (1), где сжимается и направляется в регенеративный воздухоподогреватель (7), а затем через воздухораспределительный клапан (5) в камеру сгорания (2). В камере сгорания в потоке воздуха сжигается топливо, поступающее через форсунки. Горячие газы поступают на лопатки газовой турбины (3), где тепловая энергия потока превращается в механическую энергию вращения ротора турбины.

Мощность, полученная на валу турбины, используется для привода компрессора (1) и электрогенератора (4), который вырабатывает электроэнергию. Горячие газы после регенератора (7) поступают в водогрейный котел — утилизатор (8), а потом уходят в дымовую трубу (13). Сетевая вода, подаваемая сетевыми насосами (12), нагревается в водогрейном котле-утилизаторе (8) и пиковом котле (10) и направляется в центральный тепловой пункт (ЦТП). Подключение потребителей к ЦТП осуществляется при организации независимого контура. В качестве топлива используется природный газ. При аварийном прекращении подачи газа оба котла и ГТУ (при частичной нагрузке) переводятся для работы на сжиженный пропан-бутан (СУГ — сжиженные углеводородные газы).

В зависимости от особенностей потребителей возможны следующие решения по схемам использования ГТУ:

— выдача электрической мощности в систему на генераторном (6,3 или 10,5 кВ) или повышенном до 110 кВ напряжении;

— выдача тепловой мощности через центральный тепловой пункт (ЦТП) или через индивидуальные тепловые пункты (ИТП) с полной гидравлической развязкой сетей ТЭЦ и потребительских сетей;

— работа ГТУ на общие с другими энергоисточниками тепловые сети или использование ГТУ в качестве автономного источника тепла;

— использование ГТУ как в закрытых, так и в открытых системах теплоснабжения.

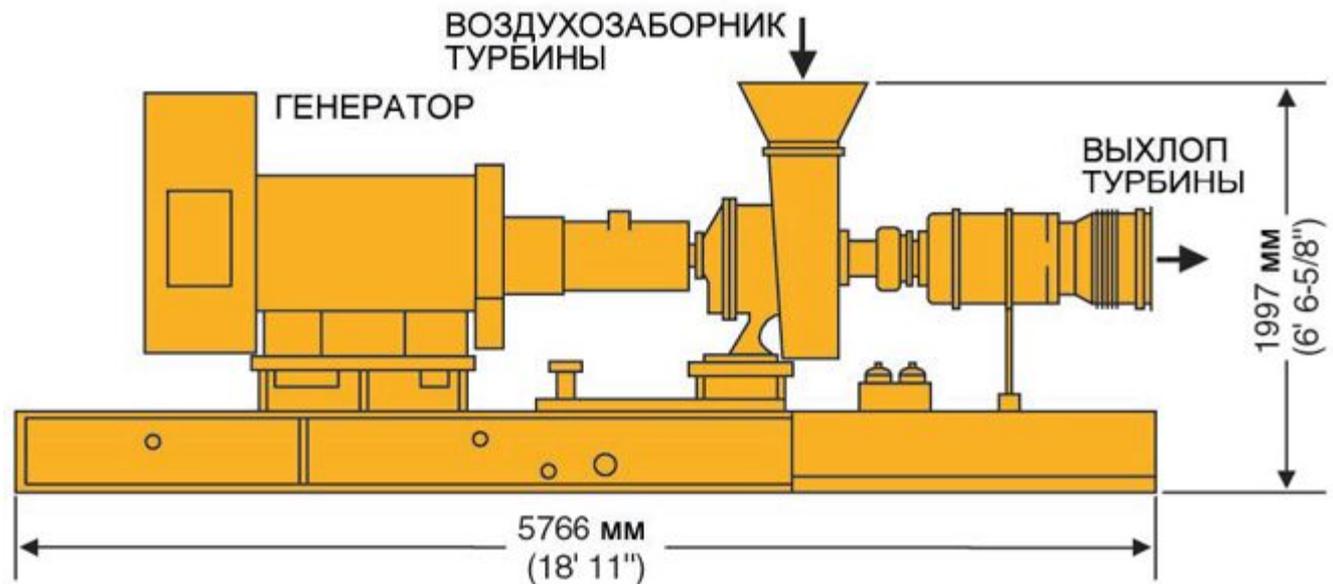
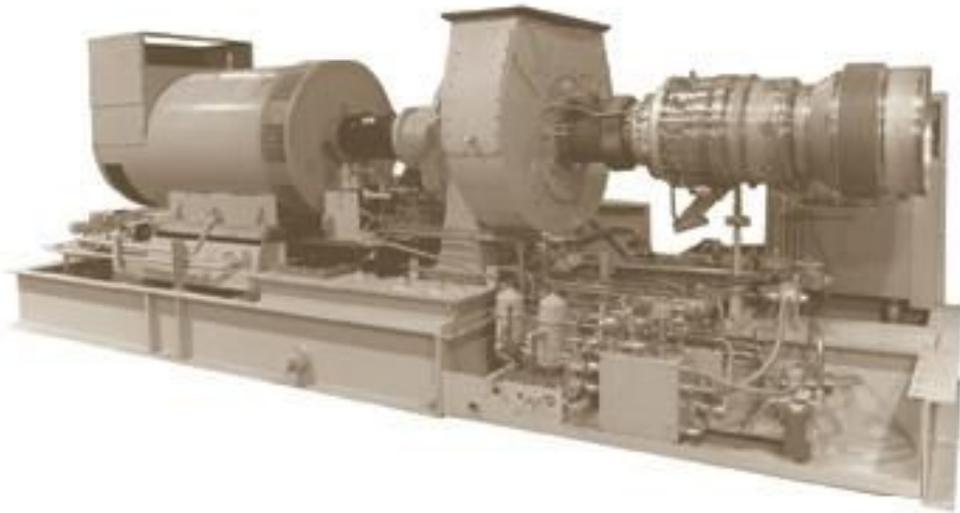
Достоинства и особенности применения ГТУ

- высокая надежность: ресурс работы основных узлов составляет до 150 тыс. час., а ресурс работы до капитального ремонта — 50 тыс. час.;
- коэффициент использования топлива (КИТ) при полной утилизации тепла достигает 85 %;
- экономичность установки: удельный расход условного топлива на отпуск 1 кВт электроэнергии составляет 0,2 кг у. т., а на отпуск 1 Гкал тепла — 0,173 кг у. т.;
- короткий срок окупаемости и небольшие сроки строительства — до 10÷12 месяцев (при наличии необходимых согласований и разрешений);
- низкая стоимость капитальных вложений — не более \$600 за установленный киловатт в пределах площадки ГТУ ТЭС;

- возможность автоматического и дистанционного управления работой ГТУ, автоматическое диагностирование режимов работы станции;
- возможность ухода от строительства дорогостоящих протяженных ЛЭП, что особенно важно для России.

Как недостаток следует отметить необходимость дополнительных расходов на сооружение газокompрессорной дожимающей станции. ГТУ требуется газ с давлением, превышающим давление воздуха за компрессором - 2,5 МПа, а в городских сетях давление газа составляет 1,2 МПа.

Газотурбинная электростанция Solar Turbines Saturn 20 (США)



ГТУ мощностью 1250 кВт производства ОАО «Климов»



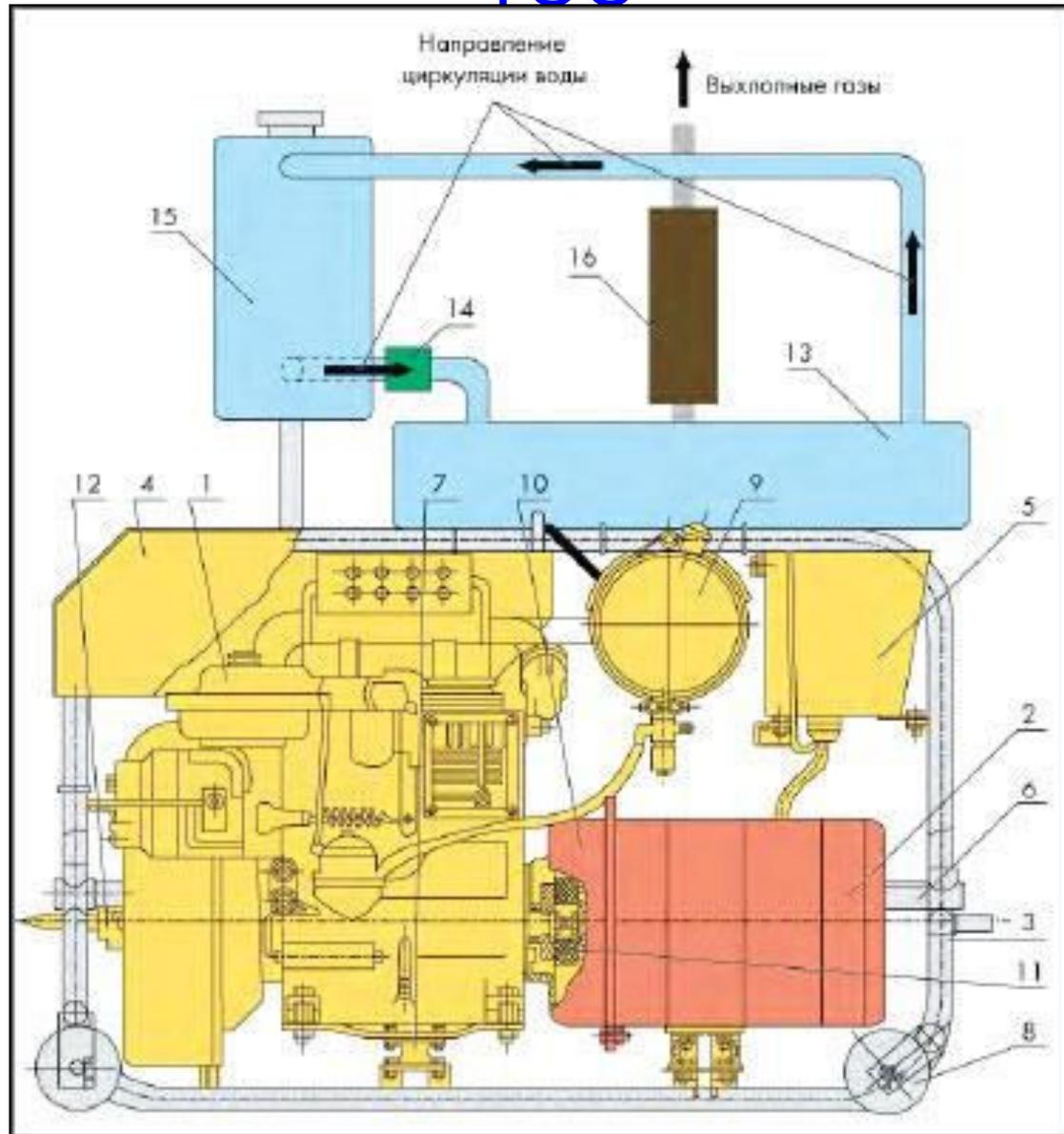
Мини-ТЭЦ «Белый ручей»







Принципиальная тепловая схема ГТУ мини-ТЭС

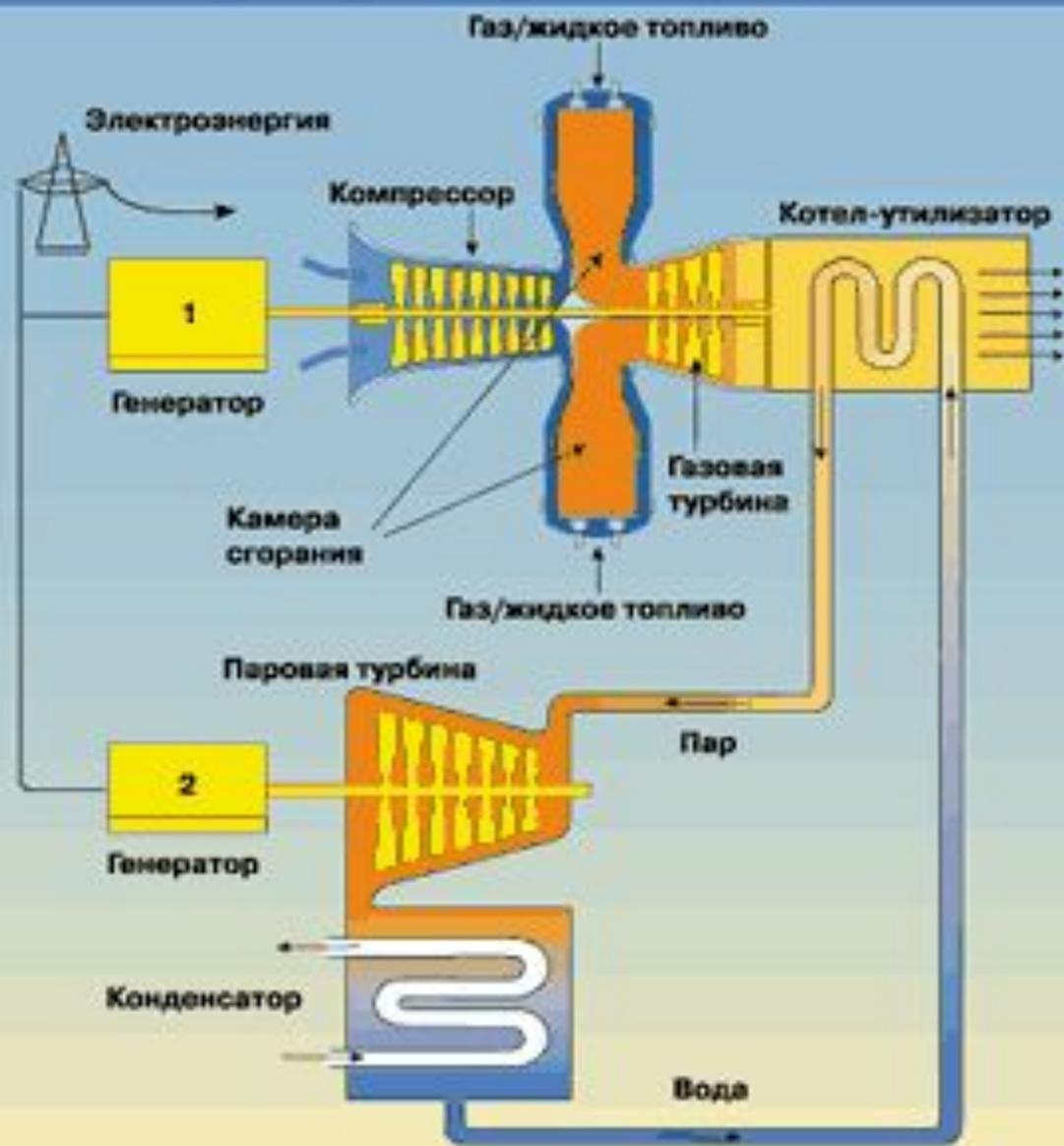


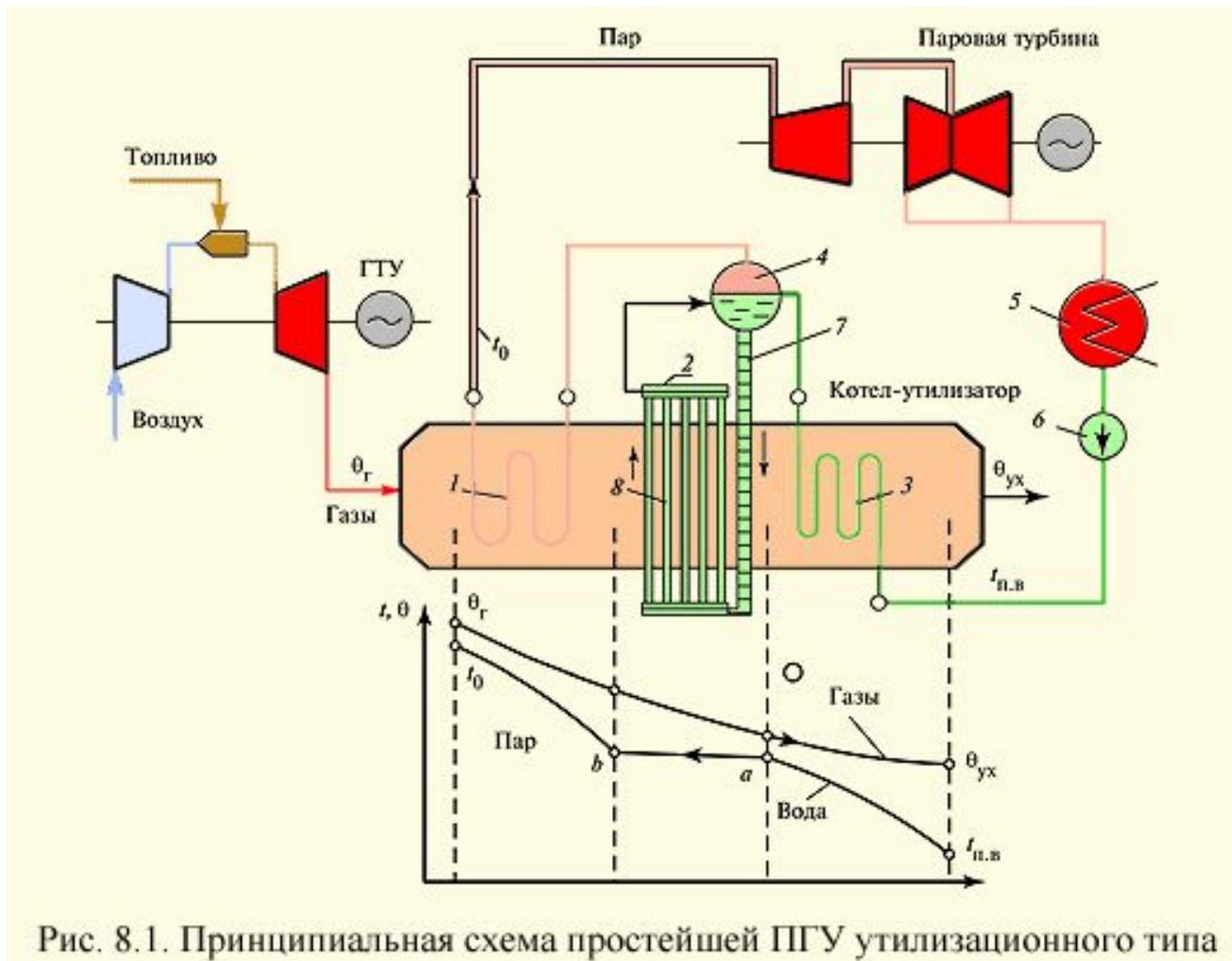
ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ (ПГУ)

Парогазовые установки (в англоязычном мире используется название combined-cycle power plant) – сравнительно новый тип генерирующих станций, работающих на газе или на жидком топливе.

Рассмотрим принцип работы самой экономичной и распространенной классической схемы. Устройство состоит из двух блоков: газотурбинной (ГТУ) и паросиловой (ПС) установок. В ГТУ вращение вала турбины обеспечивается образовавшимися в результате сжигания природного газа, мазута или солярки продуктами горения – газами. Образовавшиеся в камере сгорания газотурбинной установки продукты горения вращают ротор турбины, а та, в свою очередь, крутит вал первого генератора.

Принцип работы парогазовой установки





1 – пароперегреватель; 2 - испаритель; 3 – экономайзер. Центральным элементом является испаритель, состоящий из барабана 4, нескольких опускных труб 7 и достаточно плотно установленных вертикальных труб собственно испарителя 8. Испаритель работает на принципе естественной конвекции

В первом, газотурбинном, цикле КПД редко превышает 38 %. Отработавшие в ГТУ, но все еще сохраняющие высокую температуру, продукты горения поступают в так называемый котел-утилизатор. Там они нагревают пар до температуры и давления (500 °С и 80 атмосфер), достаточных для работы паровой турбины, к которой подсоединен еще один генератор. Во втором, паросиловом, цикле используется еще около 20 % энергии сгоревшего топлива. В итоге КПД всей установки составляет около 58 %. Существуют и некоторые другие типы комбинированных ПГУ, но погоды в современной энергетике они не делают.

Как правило, такие системы используются генерирующими компаниями в том случае, когда необходимо максимизировать производство электрической энергии. Когенерация в этом случае играет подчиненную роль и обеспечивается за счет отвода части тепла из паровой турбины.

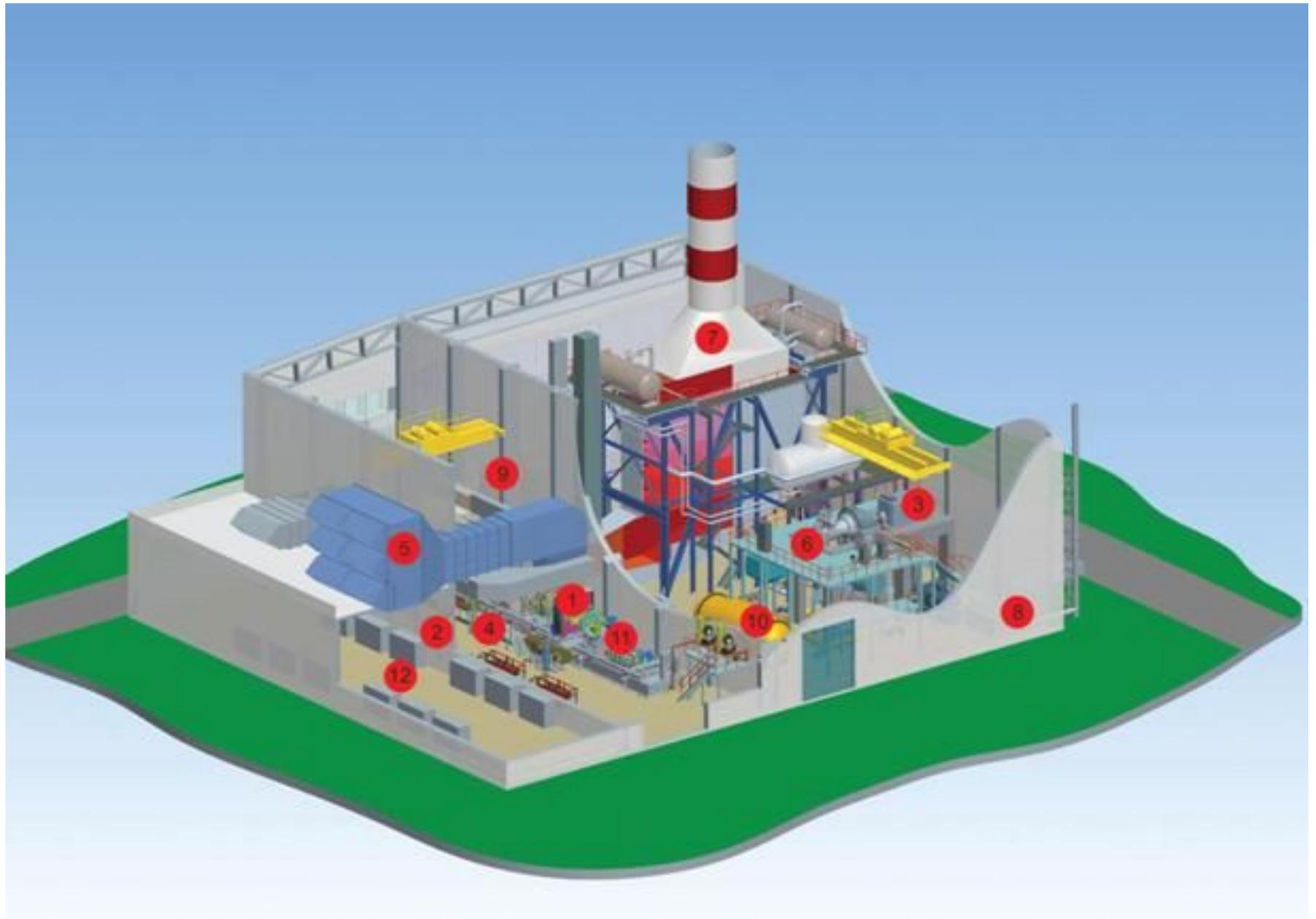
Иногда парогазовые установки создают на базе существующих старых паросиловых установок (схема topping). В этом случае уходящие газы из новой газовой турбины сбрасываются в существующий паровой котел, который соответствующим образом модернизируется. КПД таких установок, как правило, ниже, чем у новых парогазовых установок, спроектированных и построенных «с нуля».

Преимущества ПГУ

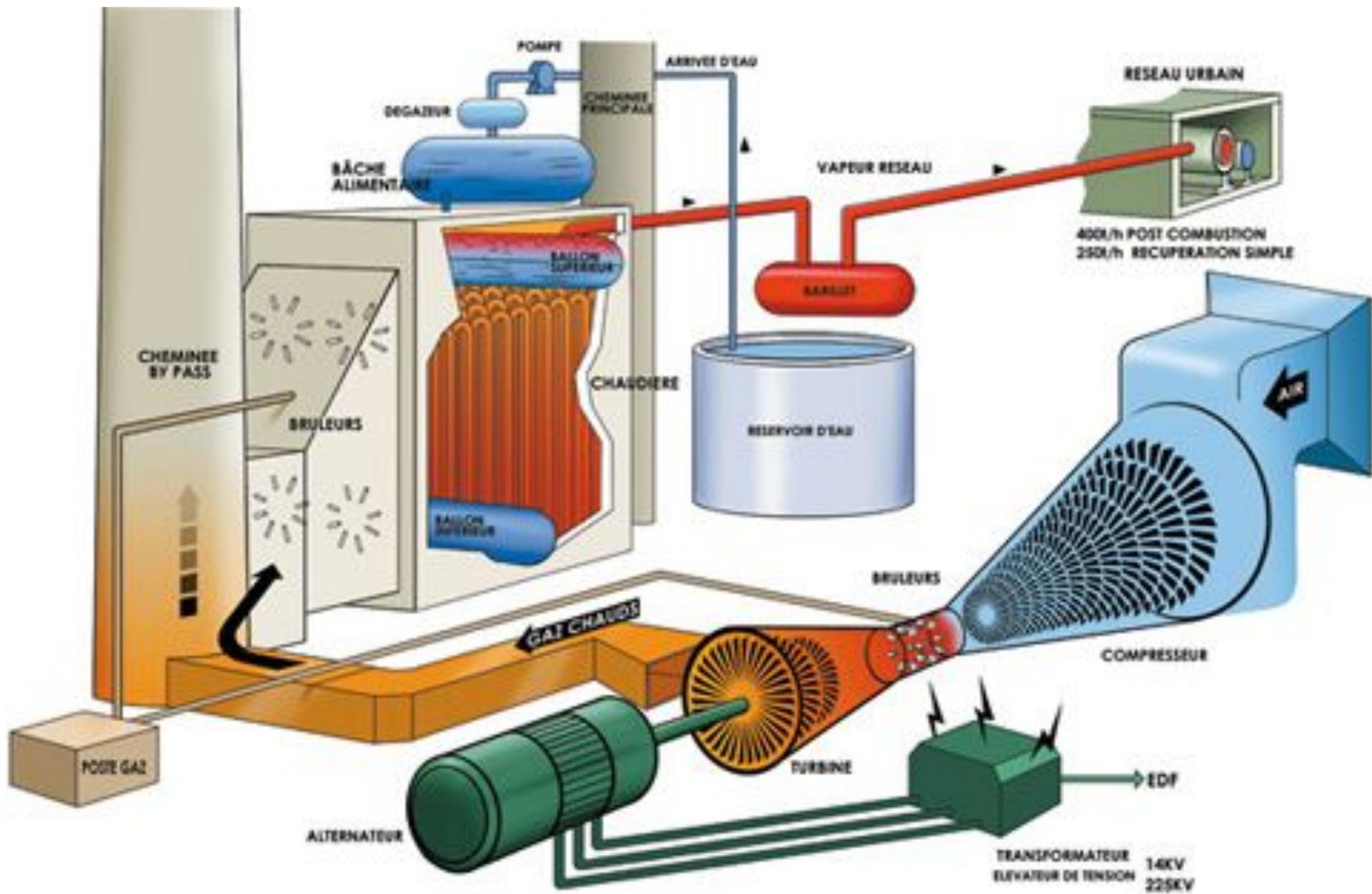
- ❖ Парогазовые установки позволяют достичь электрического КПД более 60 %. Для сравнения, у работающих отдельно паросиловых установок КПД обычно находится в пределах 33÷45 %, для газотурбинных установок – в диапазоне 28÷42 %.
- ❖ Низкая стоимость единицы установленной мощности.
- ❖ Парогазовые установки потребляют существенно меньше воды на единицу вырабатываемой электроэнергии по сравнению с паросиловыми установками.
- ❖ Короткие сроки возведения (9÷12 мес.).
- ❖ Нет необходимости в постоянном подвозе топлива ж/д или морским транспортом.
- ❖ Компактные размеры позволяют возводить их непосредственно у потребителя (завода или внутри города), что сокращает затраты на ЛЭП и транспортировку эл. энергии.

Недостатки ПГУ

- Необходимость осуществления фильтрации воздуха, используемого для сжигания топлива.
- Ограничения на типы используемого топлива. Как правило в качестве основного топлива используется природный газ, а резервного – дизельное топливо. Применения угля в качестве топлива возможно только в установках с внутрицикловой газификацией угля, что сильно удорожает строительство таких электростанций. Отсюда вытекает необходимость строительства недешевых коммуникаций транспортировки топлива – трубопроводов.







Северо-Западная ТЭЦ



ТЭС Костанера (Аргентина)



Тригенерация - абсорбционные холодильные установки (АХУ)

Системы совместного производства теплоты и электричества работают эффективно, если используется вся или максимально возможная часть вырабатываемых энергий. В реальных условиях нагрузка изменяется, поэтому для эффективного использования топлива необходима балансировка соотношения производимой теплоты и электричества. Для покрытия избытка тепловой энергии в летнее время используется абсорбционная холодильная установка (АХУ). С помощью комбинации мини-ТЭС и АХУ излишки тепла в летнее время используются для выработки холода в системах кондиционирования.

Горячая вода из замкнутого цикла охлаждения ГПА служит источником энергии для АХУ.

Такой способ использования первичного источника энергии называется **тригенерацией** (тепло, электроэнергия, холод). Принцип действия абсорбционной холодильной машины можно представить следующим образом.

Принципиальная схема АХУ

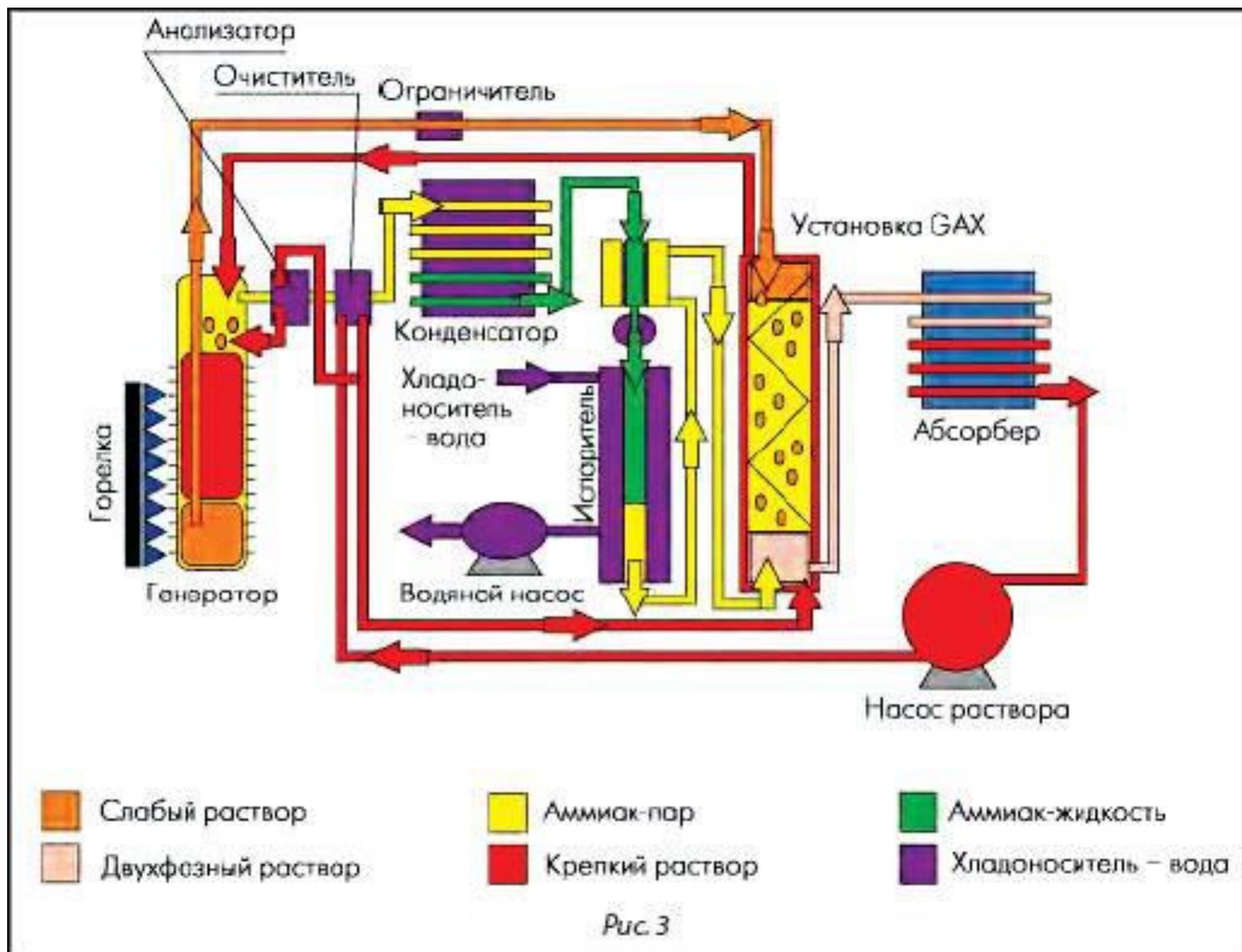


Рис 3

В АХУ имеются два циркуляционных контура, соединенных между собой. В контуре, содержащем термостатический регулирующий вентиль и испаритель, происходит испарение жидкого хладагента (аммиака) за счет разрежения, создаваемого пароструйным насосом. Вентиль ограничивает поступление новых порций жидкого аммиака, обеспечивая его полное испарение, проходящее с поглощением тепла. Образовавшиеся пары аммиака откачиваются пароструйным насосом: водяной пар, проходя через сопло, захватывает с собой пары аммиака. Второй контур содержит нагреватель для поглощения пара и абсорбер, где пары аммиака поглощаются водой. Обратный процесс (выпаривание аммиака из воды) происходит за счет утилизационного тепла от ГПА (ГПУ). После этого аммиак конденсируется в теплообменнике, охлаждаемым наружным воздухом.

Приведенная выше технология реализована в установке «генератор-абсорбер-теплообменник (GAX)», которая прошла испытания и уже появилась на рынке.

Инженерное обоснование проектов когенерационных установок

При разработке технико-экономического обоснования проекта мини-ТЭС прежде всего необходимо оценить потребность объекта в тепловой и электрической энергии. При оценке экономической эффективности установки должны учитываться затраты на энергоносители и эксплуатационные материалы (газ, электричество, тепло, моторное масло), на проектирование, покупку оборудования, монтаж, наладку, инженерные коммуникации, эксплуатационные издержки. Основные критерии: конечная себестоимость электрической и тепловой энергии, расчет годовой экономии и срок окупаемости проекта. Кроме того, оценивается общий ресурс оборудования и межремонтный ресурс (для ГПА наработка до капремонта составляет около 60 тыс. час., для ГТУ – 30 тыс. час.).

Также определяется число и единичная мощность энергетических агрегатов. Здесь следует руководствоваться следующими положениями:

- единичная электрическая мощность должна быть в 2÷2,5 раза больше минимальной потребности объекта;

- общая мощность агрегатов должна превышать максимальную потребность объекта на 5÷10 %;

- мощность единичных агрегатов должна быть примерно одинаковой;

- мини-ТЭС на базе ГПА должна покрывать, как минимум, до половины максимальной ежегодной потребности предприятия в тепловой энергии, остальная потребность обеспечивается пиковыми водогрейными котлами.

После оценки всех факторов принимается решение о варианте работы мини-ТЭС – автономной или параллельно с централизованной сетью (что весьма сомнительно при негативном отношении ЕЭС к децентрализованным мини-ТЭС).

Особо значимым видится вопрос эффективного использования тепла в летнее время и варианты его использования, например, для побочной выработки, строительных материалов, химической продукции.

Для более подробного анализа экономической эффективности применения различных способов обеспечения предприятия энергоресурсами сведем основные параметры в сводную сравнительную таблицу:

Наименование	Эксплуатационные затраты (цент/кВт)	Стоимость 1 кВт установленной мощности, \$
ГТУ	0,06	400÷950
ГПА	1,45	1200÷1800
ПГУ-ПВМ	0,001	400÷600

Анализ работы различных двигателей

Двигатель	Используемое топливо	Диапазон мощностей (МВт*э)	Отношение тепло : электроэнергия	КПД эл.	КПД общий
Паровая турбина	Любое	1 — 1000	3:1 — 8:1	10-20 %	до 80 %
Газовая турбина	газ, биогаз, дизельное топливо, керосин, LFO, LPG, HFO	0.25 — 300	1.5:1 — 5:1	25-42 %	65-87 %
Парогазовая установка	газ, биогаз, дизельное топливо, керосин, LFO, LPG	3 — 300	1:1 — 3:1	35-55 %	73-90 %
Поршневой двигатель с воспламенением от сжатия (дизель)	газ, биогаз, дизельное топливо, керосин, LHO, HFO	0.2 — 20	0.5:1 — 3:1 Вариант по умолчанию: 0.9-2	35-45 %	65-90 %
Поршневой двигатель с воспламенением от искры	газ, биогаз, керосин, LHO	0.03 — 6	1:1 — 3:1 Вариант по умолчанию: 0.9-2	35-43 %	70-90 %

Типы топлива

LFO (light fuel oil);

LPG (liquefied petroleum gas) - пропан-бутан;

HFO (heavy fuel oil) - мазут;

LHO (Gasoline light heating oil).

ГПА с воспламенением от искры имеют наилучшее соотношение «расход топлива/энергия» и наиболее эффективны при мощностях от 0,03 до 5÷6 МВт. ГПА с воспламенением от сжатия (дизеля) работают в диапазоне мощностей от 0,2 до 20 МВт.

МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотренные выше мини-ТЭЦ работают на базе газовых моторов и газовых турбин. Нижняя граница электрической мощности, при которой работа ТЭЦ на базе газовых моторов еще представляется целесообразной, составляет модульную величину порядка 5 кВт, а на базе газовых турбин - 500 кВт. Для коттеджей и многоквартирных домов или для небольших производств необходимы ТЭЦ значительно более низкой мощности. Для применения в жилых домах имеется две новые перспективные технологии: **стирлинг-моторы** и **топливные элементы**.

Эксплуатация на природном газе обеспечивает им практически бесшумную работу и незначительное количество вредных веществ, что делает их применение в жилых и производственных постройках целесообразным как с технической, так и с экологической точки зрения. Успешный выход на рынок в любом случае предполагает экономическую конкурентоспособность по отношению к сегодняшнему стандарту, т.е. теплоснабжению через отопление в сочетании с полным электроснабжением от сети.

Топливный элемент (электрохимический генератор) – устройство, которое преобразует химическую энергию топлива (водорода) в электрическую в процессе электрохимической реакции напрямую, в отличие от традиционных технологий, при которых используется сжигание твердого, жидкого и газообразного топлива. Прямое электрохимическое преобразование топлива очень эффективно и привлекательно с точки зрения экологии, поскольку в процессе работы выделяется минимальное количество загрязняющих веществ, а также отсутствуют сильные шумы и вибрации.

С практической точки зрения топливный элемент напоминает обычную гальваническую батарею. Отличие заключается в том, что изначально батарея заряжена, т. е. заполнена «топливом». В процессе работы «топливо» расходуется и батарея разряжается. В отличие от батареи топливный элемент для производства электрической энергии использует топливо, подаваемое от внешнего источника (рис. 1).

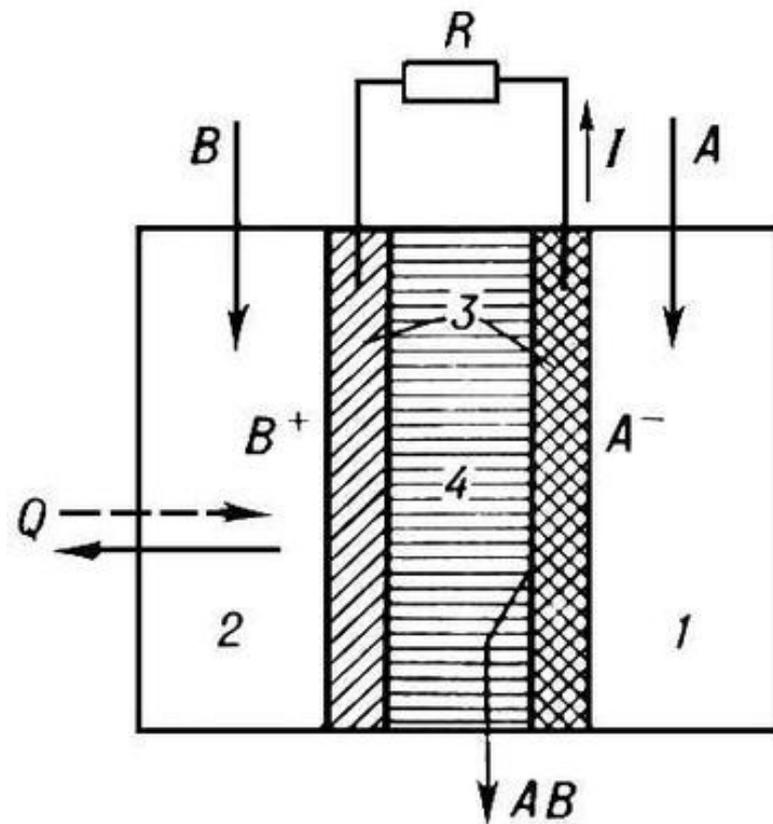
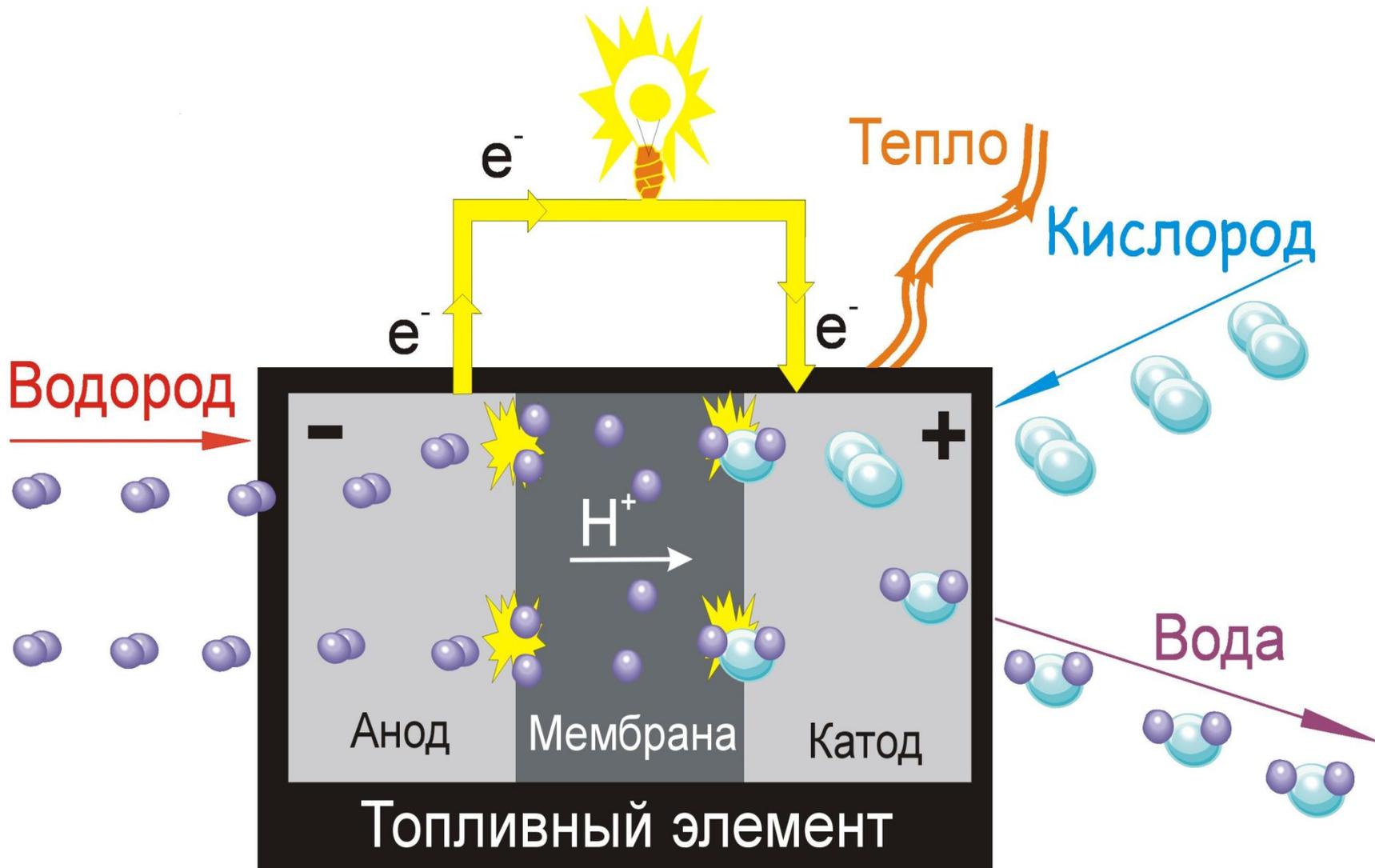


Схема топливного элемента: 1 и 2 — полости с реагентами; 3 — электроды; 4 — электролит; А — окислитель; В — топливо; АВ — продукты реакции; R — сопротивление нагрузки; I — электрический ток; Q — тепло, выделяющееся (поглощающееся) в результате реакции.



Принцип действия топливного элемента на примере простейшего элемента с протонообменной мембраной (Proton Exchange Membrane, PEM)

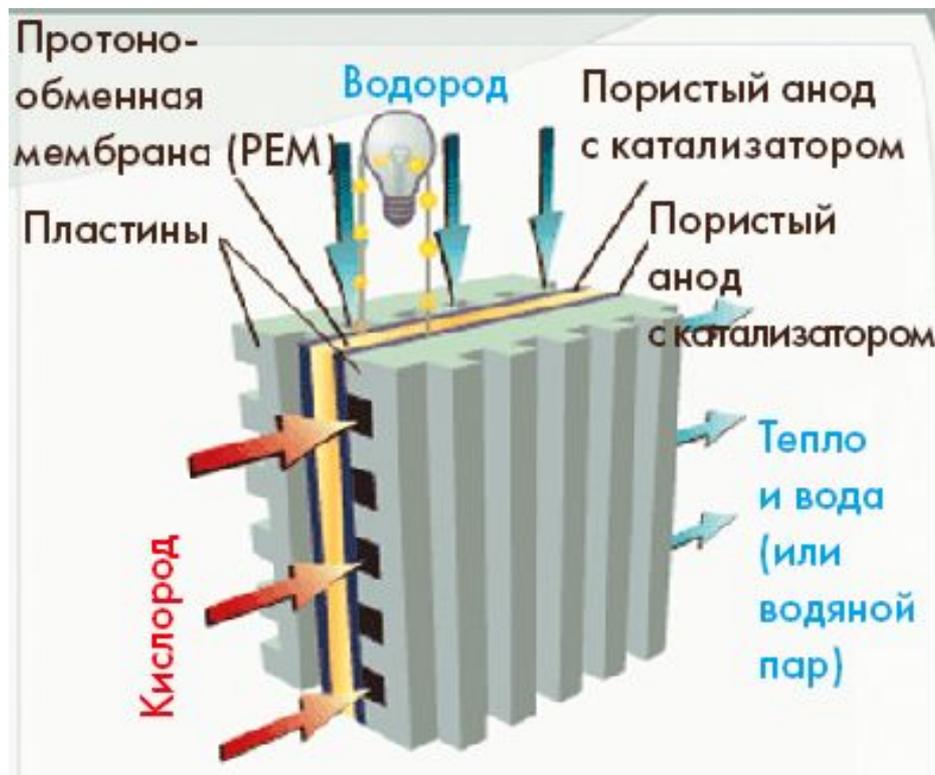
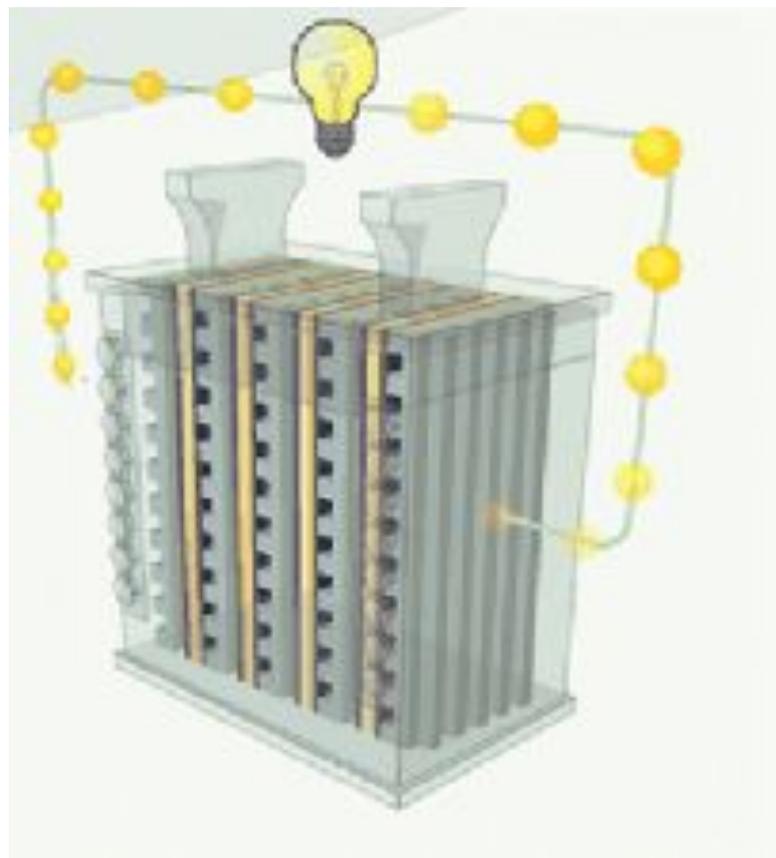


Схема топливного элемента с протонообменной мембраной (PEM-элемента)



Батарея топливных элементов

Водородно-кислородный топливный элемент

Водородно-кислородный топливный элемент с протонообменной мембраной (например, «с полимерным электролитом») содержит протонопроводящую полимерную мембрану, которая разделяет два электрода – анод и катод. Каждый электрод обычно представляет собой угольную пластину (матрицу) с нанесенным катализатором – платиной или сплавом платиноидов и др.

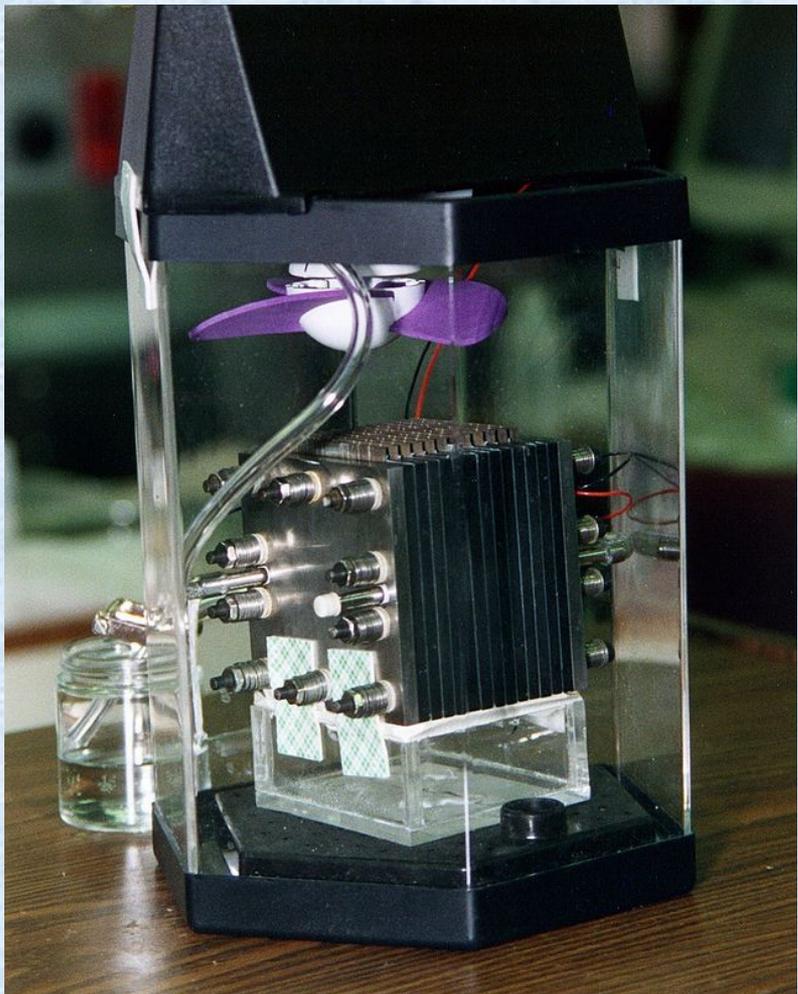
На катализаторе анода композиция.
молекулярный водород диссоциирует и теряет электроны. Катионы водорода проводятся через мембрану к катоду, но электроны отдаются во внешнюю цепь, так как мембрана не пропускает электроны. На катализаторе катода молекула кислорода соединяется с электроном (который подводится из внешних коммуникаций) и пришедшим протоном и образует воду, которая является единственным продуктом реакции (в виде пара и/или жидкости).

Топливные элементы не могут хранить электрическую энергию, как гальванические или аккумуляторные батареи, но для некоторых применений, таких как работающие изолированно от электрической системы электростанции, использующие непостоянные источники энергии (солнце, ветер), они совместно с электролизёрами, компрессорами и ёмкостями для хранения топлива (например, баллоны для водорода) образуют устройство для хранения энергии. Общий КПД такой установки (преобразование электрической энергии в водород и обратно в электрическую энергию) 30÷40 %.

Мембрана обеспечивает проводимость протонов, но не электронов. Она может быть полимерной (**Нафцион** (Nafion), **полибензимидазол** и др.) или керамической (оксидной и др.). Впрочем, существуют ТЭ и без мембраны.

Для производства электрической энергии может использоваться не только чистый водород, но и другое водородосодержащее сырье, например, природный газ, аммиак, метанол или бензин. В качестве источника кислорода, также необходимого для реакции, используется обычный **воздух**.

При использовании чистого водорода в качестве топлива продуктами реакции помимо электрической энергии являются тепло и вода (или водяной пар), т. е. в атмосферу не выбрасываются газы, вызывающие загрязнение воздушной среды или вызывающие парниковый эффект. Если в качестве топлива используется водородосодержащее сырье, например, природный газ, побочным продуктом реакции будут и другие газы, например, оксиды углерода и азота, однако его количество значительно ниже, чем при сжигании такого же количества природного газа. Процесс химического преобразования топлива с целью получения водорода называется **реформингом**, а соответствующее устройство – **реформером**.



**Прямой метанольный
топливный элемент**



**Метанольный топливный элемент в
Mercedes Benz Nocar 2**

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ

Принцип действия топливных элементов был открыт в 1839 г. английским ученым В.Р. Гроувом, который обнаружил, что процесс электролиза обратим, то есть водород и кислород можно объединить в молекулы воды без горения, но с выделением тепла и электричества. Свой прибор, в котором удалось провести эту реакцию, ученый назвал "газовой батареей", и это был первый топливный элемент. Однако в последующие 100 лет эта идея не нашла практического применения.



В 1937 г. профессор Ф. Бэкон начал работы над своим топливным элементом. К концу 1950-х он разработал батарею из 40 топливных элементов, имеющую мощность 5 кВт. Такую батарею можно было применить для обеспечения энергией сварочного аппарата или грузоподъемника. Батарея работала при высоких температурах порядка 200 °С и более и давлениях 20÷40 бар. Кроме того, она была весьма массивна.

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Топливные элементы энергетически более эффективны, чем двигатели внутреннего сгорания, поскольку для топливных элементов нет термодинамического ограничения коэффициента использования энергии. Коэффициент полезного действия топливных элементов составляет 50÷80 %, в то время как КПД двигателей внутреннего сгорания составляет 12÷15 %, а КПД паротурбинных энергетических установок не превышает 40 %. При использовании тепла и воды эффективность топливных элементов еще больше увеличивается.

В отличие, например, от двигателей внутреннего сгорания КПД топливных элементов остается очень высоким и в том случае, когда они работают не на полной мощности. Кроме этого, мощность топливных элементов может быть увеличена простым добавлением отдельных блоков, при этом КПД не меняется, т. е. большие установки столь же эффективны, как и малые. Эти обстоятельства позволяют очень гибко подбирать состав оборудования в соответствии с пожеланиями заказчика и в конечном итоге

❖ **Важное преимущество топливных элементов – их экологичность** (*в атмосферу поступает только водяной пар*). Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ при эксплуатации топливных элементов настолько низки, что в некоторых районах США для их эксплуатации не требуется специального разрешения от государственных органов, контролирующих качество воздушной среды.

Топливные элементы можно размещать непосредственно в здании, при этом снижаются потери при транспортировке энергии, а тепло, образующееся в результате реакции, можно использовать для теплоснабжения или горячего водоснабжения здания. Автономные источники тепло- и электроснабжения могут быть очень выгодны в отдаленных районах и в регионах, для которых характерна нехватка электроэнергии и ее высокая стоимость, но в то же время имеются запасы водородосодержащего сырья (нефти, природного газа).

Достоинствами топливных элементов являются также **доступность топлива**, **надежность** (в топливном элементе отсутствуют движущиеся части), долговечность и **простота эксплуатации**.

Топливные элементы наиболее эффективны при использовании одновременно как электрической, так и тепловой энергии. Однако возможность использования тепловой энергии есть не на каждом объекте. В случае использования топливных элементов только для выработки электрической энергии их КПД уменьшается, хотя и превышает КПД «традиционных» установок.

❖ Компактность

Топливные элементы легче и имеют меньшие размеры, чем традиционные источники питания. Топливные элементы производят меньше шума, меньше нагреваются, более эффективны с точки зрения потребления топлива. Это становится особенно актуальным в военных приложениях. Например, солдат армии США носит 22 различных типа аккумуляторных батарей. Средняя мощность одной батареи составляет 20 ватт. Применение топливных элементов позволит сократить затраты на логистику, снизить вес, продлить время действия приборов и оборудования.

НЕДОСТАТКИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Один из основных недостатков топливных элементов на сегодняшний день – их относительно высокая стоимость, но этот недостаток может быть вскоре преодолен – все больше компаний выпускают коммерческие образцы топливных элементов, они непрерывно совершенствуются, а их стоимость снижается.

По данным экспертов, стоимость энергии водородного топливного элемента должна подешеветь в восемь раз, чтобы стать конкурентноспособной с энергией, производимой традиционными тепловыми и атомными электростанциями.

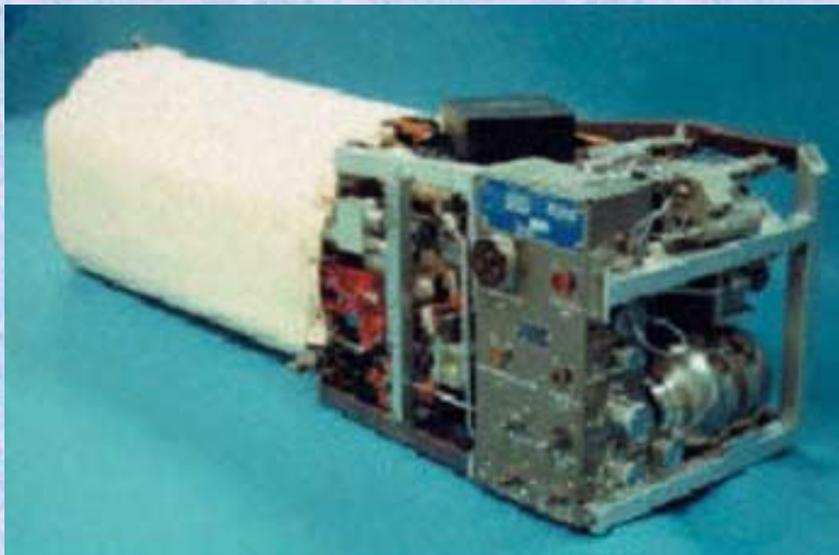
К сожалению, в водороде, произведённом из природного газа, будут присутствовать СО и сероводород, которые отравляют катализатор. Поэтому для уменьшения отравления катализатора необходимо повысить температуру топливного элемента. Уже при температуре 160 °С в топливе может присутствовать 1 % СО.

К недостаткам топливных элементов с платиновыми катализаторами можно отнести высокую стоимость платины, сложности с очисткой водорода от вышеупомянутых примесей, и как следствие, дороговизну газа, ограниченный ресурс элемента вследствие отравления катализатора примесями. Кроме того, платина для катализатора – невозобновляемый ресурс. Считается, что её запасов хватит лишь на 15÷20 лет производства элементов.

В качестве альтернативы платиновым катализаторам исследуется возможность применения **ферментов**. Ферменты являются возобновляемым материалом, они дешёвы, не отравляются основными примесями в дешёвом топливе. Обладают специфическими преимуществами. Нечувствительность ферментов к СО и сероводороду позволяет получать водород из биологических источников, например, при конверсии органических отходов.

Типы топливных элементов

Тип элемента	Рабочие температуры, °С	КПД выхода электрической энергии), %	Суммарный КПД, %
Топливные элементы с протонообменной мембраной (PEMFC)	60–160	30–35	50–70
Топливные элементы на основе ортофосфорной (фосфорной) кислоты (PAFC)	150–200	35	70–80
Топливные элементы на основе расплавленного карбоната (MCFC)	600–700	45–50	70–80
Твердотельные оксидные топливные элементы (SOFC)	700–1 000	50–60	70–80



Топливный элемент с щелочным электролитом, установленный на космическом корабле «Space Shuttle» производства «ONSI Corporation» (сейчас «United Technologies, Inc.»)



Ноутбук с топливным элементом, работающем на метаноле, созданный компанией «NEC Corporation». Размеры ноутбука 270x270x40 мм, масса 2 кг. Время работы на одной зарядке (0,3 л метанола) около 2 ч.

Топливный элемент на основе технологии PEM мощностью 5 кВт («United Technologies, Inc.»), установленный в багажнике автомобиля BMW 7-й серии





Система энергоснабжения почтовой службы США на основе пяти топливных элементов «PC25» производства «ONSI Corporation» (сейчас «United Technologies, Inc.»), Анкоридж, Аляска, 2001

Первые исследования начались в 60-х годах. РКК «Энергия» (с 1966 года) разрабатывала РАФС элементы для советской лунной программы. С 1987 года по 2005 «Энергия» произвела около 100 топливных элементов, которые наработали суммарно около 80000 часов.



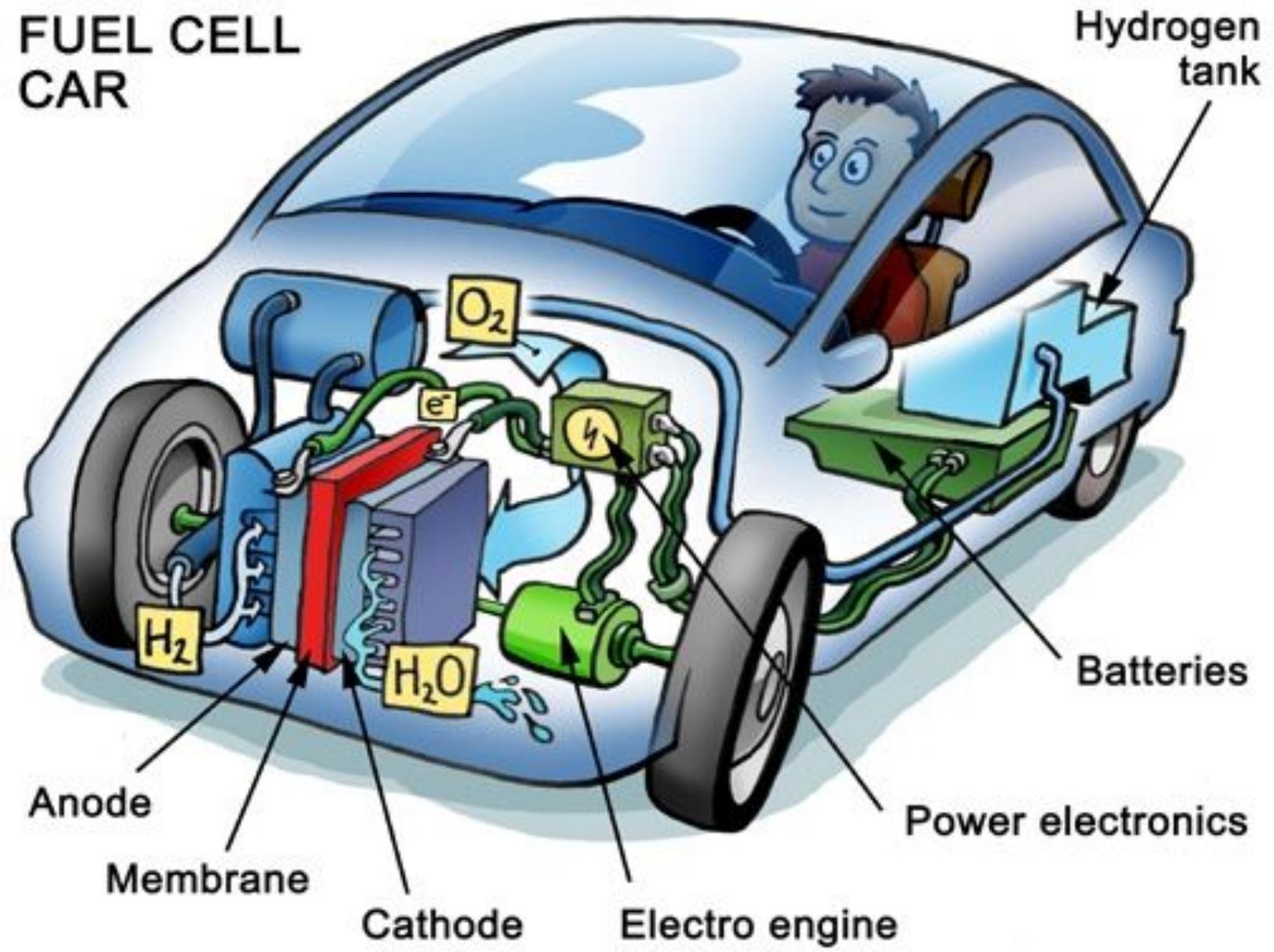
Во время работ над программой «Буран», исследовались щелочные AFC элементы. На «Буране» были установлены 10 кВт топливные элементы.



В 1999 году АвтоВАЗ начал работы с топливными элементами. К 2003 году на базе автомобиля ВАЗ-2131 было создано несколько опытных экземпляров. В моторном отсеке автомобиля располагались батареи топливных элементов, а баки со сжатым водородом в багажном отделении, то есть была применена классическая схема расположения силового агрегата и топливных баков-баллонов.

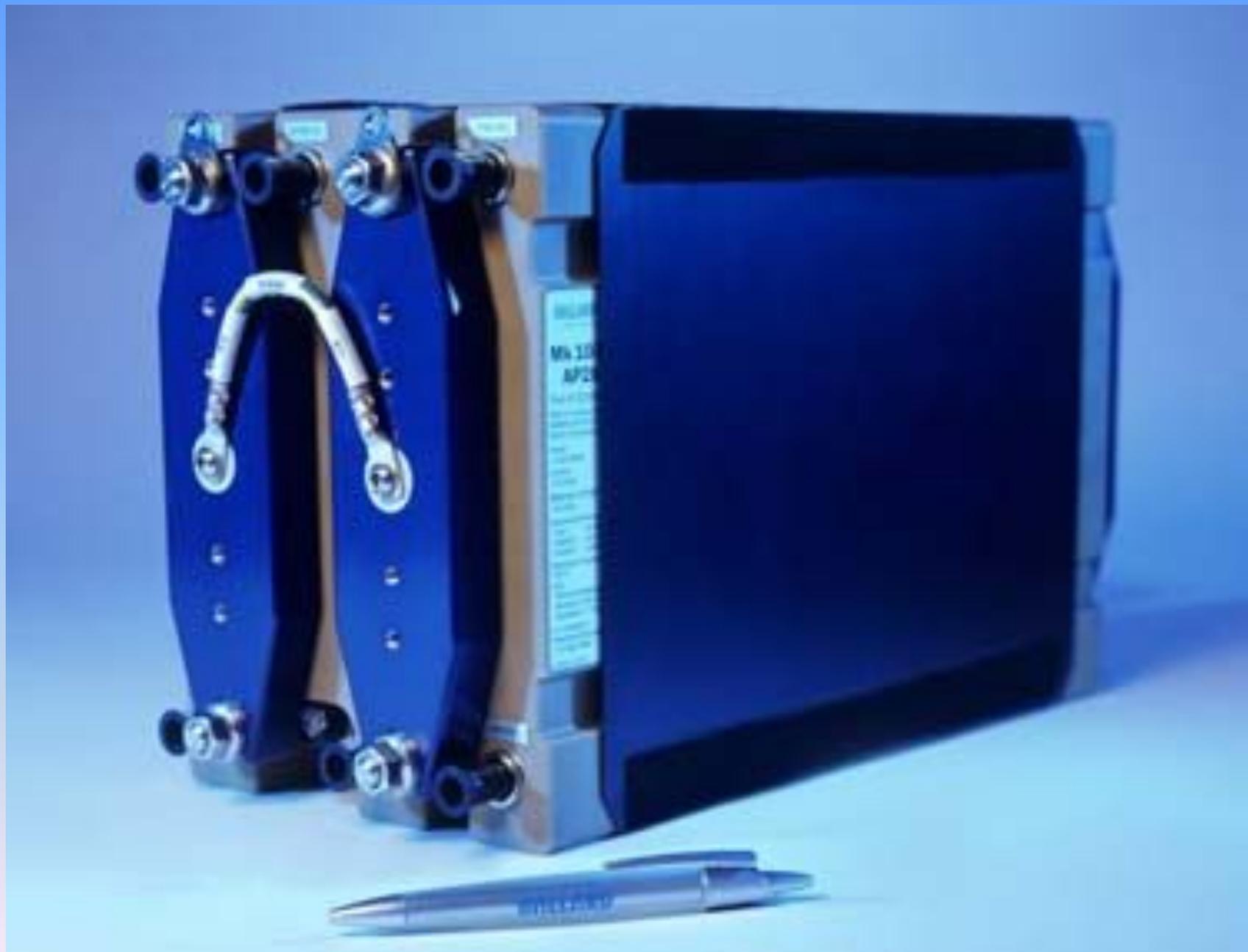


FUEL CELL CAR









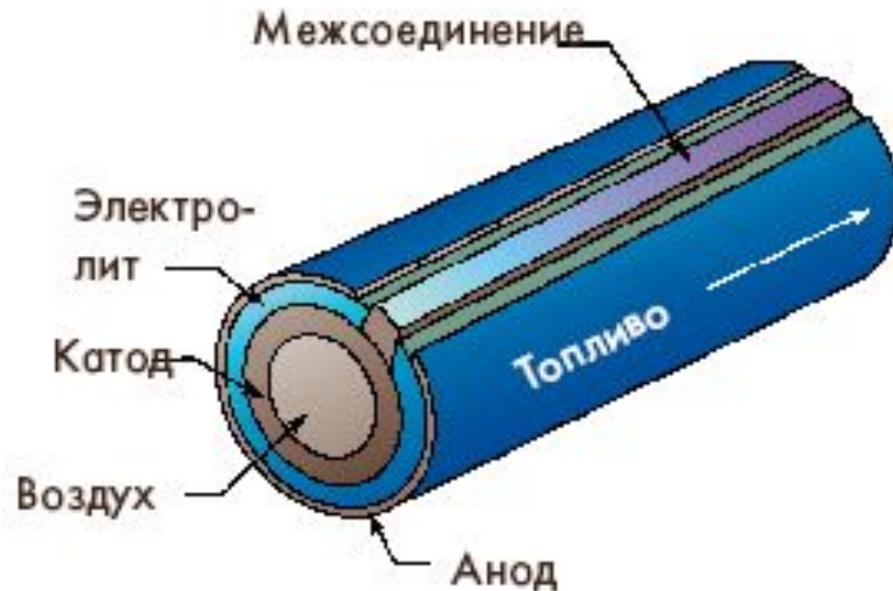
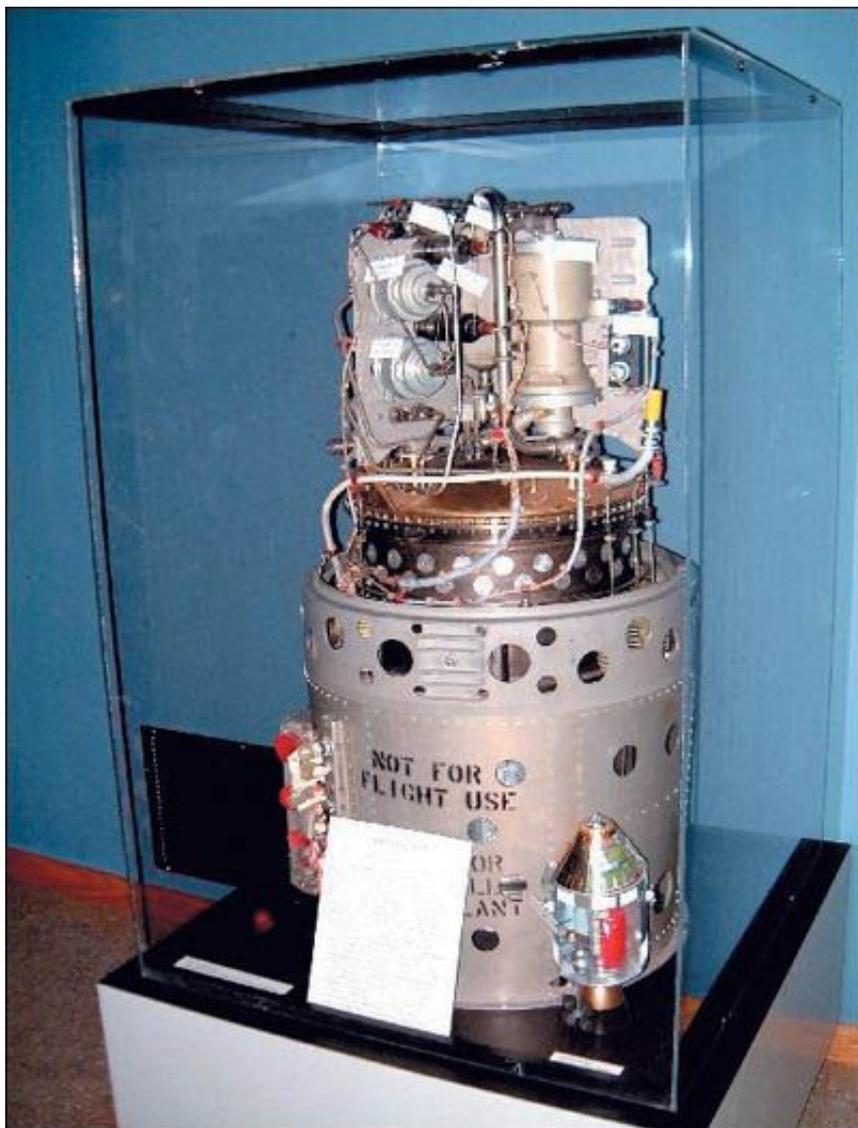


Схема отдельной ячейки твердотельного оксидного топливного элемента (SOFC) трубчатой топологии производства компании «Siemens Westinghouse Power Corporation»

Топливный элемент на основе расплавленного карбоната (MCFC), установленный на космическом корабле «Apollo» (экспонат Музея космической истории, Адамсберг, штат Нью-Мексико)

Схема энергетической установки на базе топливных элементов PEM

Диаграмма протекания процесса - система с отопительным прибором с топочным элементом и баком горячей воды.

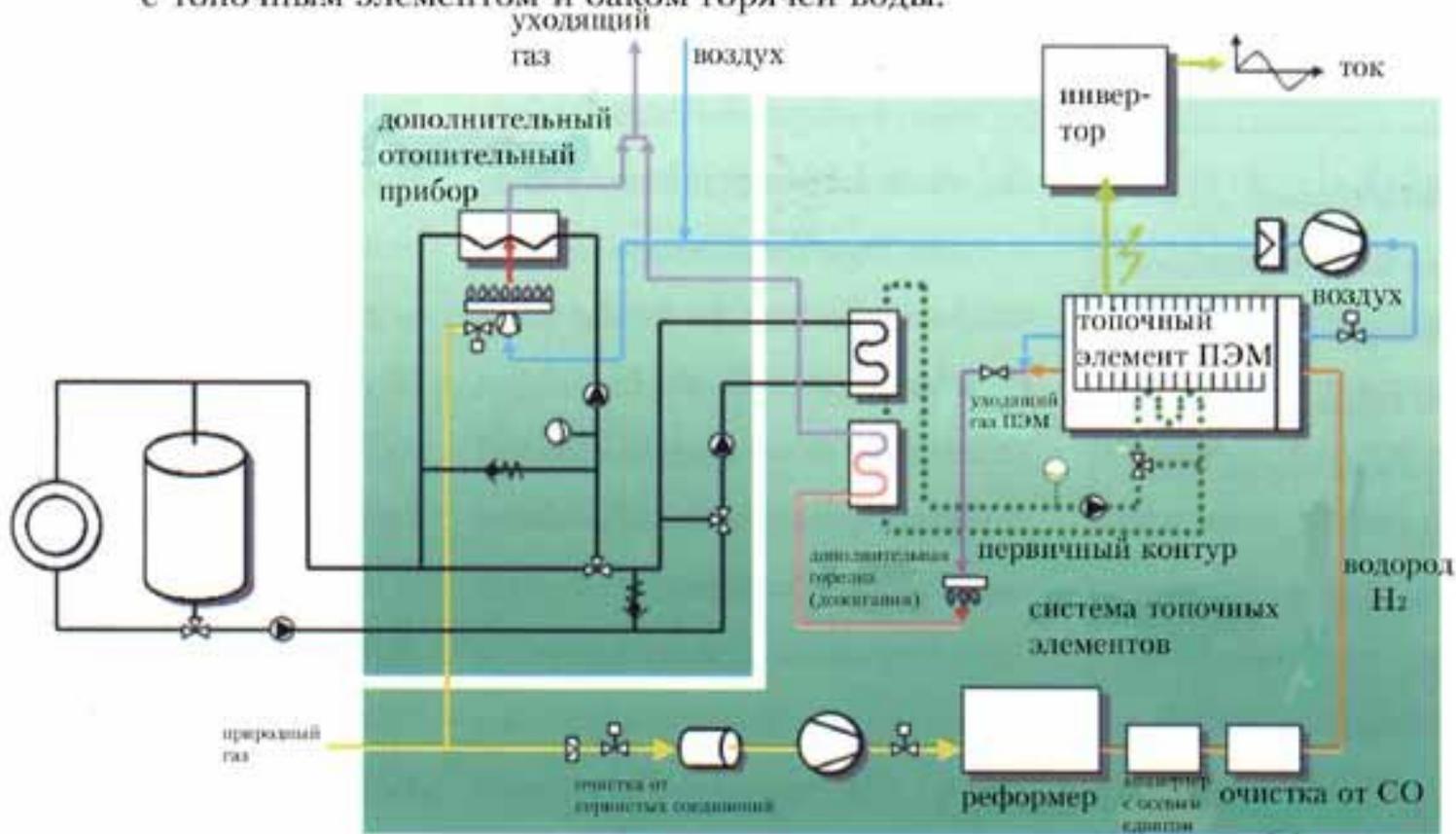


Рис.1. Схема энергетической установки ПЭМ (источник ф-ма "Вайлант")

Система в целом дополняется горелкой дожига (форсажной камерой), теплоносителем (теплопередачей) для отбора полезного тепла и инвертором (преобразователем постоянного тока в переменный). Топливные элементы PEM при условии предварительного реформинга достигают электрического КПД порядка 40 %.

Мини-ТЭЦ на базе топливного элемента с полимерно-электролитической мембраной (SOFC)

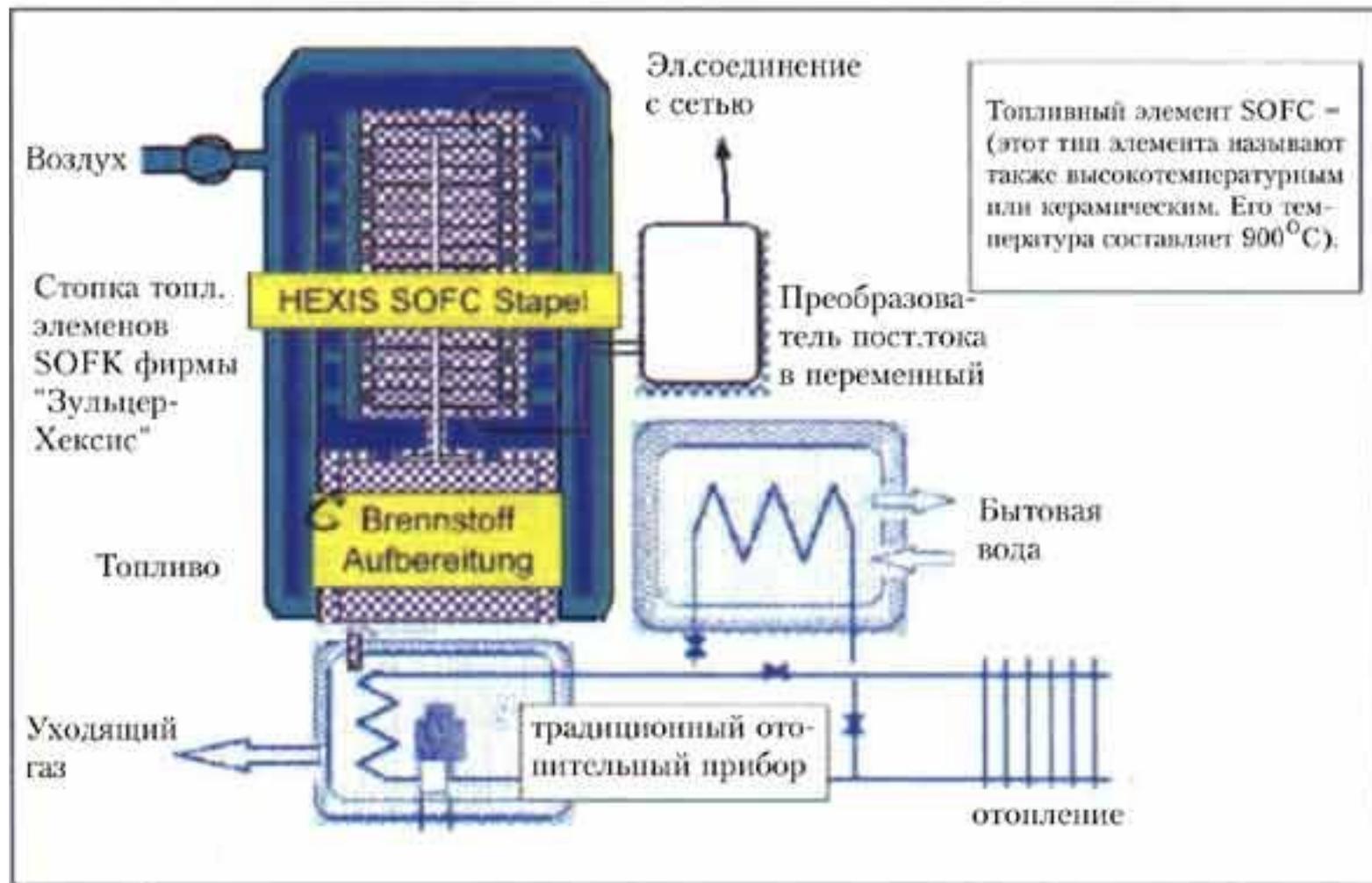


Рис2. Принцип действия мини-ТЭЦ с топливным элементом SOFC (источник ф-ма Зульцен-Хексис).

Топливный элемент SOFC имеет керамический электролит. Это является его достоинством, так же как и у PEM, из-за многократных процессов пуска. Однако для достижения способности вступать в реакцию и уменьшения теплового напряжения этот элемент нуждается в предварительном подогреве. Рабочие температуры достигают уровня $900\div 1000$ °C; проводится работа в направлении снижения рабочей температуры до уровня ниже 700 °C. Высокая температура создает возможности для работы топливного элемента SOFC на природном газе с энергетически выгодным внутренним реформингом и для использования недорогих катализаторов, не содержащих благородных металлов. Ожидаемый электрический КПД

Для использования в мини-установках для комбинированного производства тепловой и электрической энергии фирма "Зульцер-Хексис" (Sulzer-Hexis) разработала силовую установку для параллельной сетевой работы. Топливный элемент фирмы "Зульцер-Хексис" является удачным вариантом решения проблемы плотности при тепловом расширении по сравнению с обычными стопками элементов. На рис. 2 показана принципиальная схема установки в целом. Элемент SOFC имеет перспективы только для применения в сфере комбинированного производства тепловой и электрической энергии.

В принципе можно считать, что низкие рабочие температуры предъявляют низкие требования к материалам относительно выносливости и, напротив, высокие требования к газоподготовке, и дают более низкий КПД. Абсолютно противоположная ситуация у топливных элементов с высокими рабочими температурами. Разработки по применению PAFC и MCFC в мини-ТЭЦ в настоящее время приостановлены. Эти типы обуславливают при холодном пуске переход электролита из твердой в жидкую фазу. Так как в самом малом классе мощностей требуется частое повторение процесса пуска, это приводит к тому, что фаворитами становятся топливные элементы типа PEM и SOFC с твердым электролитом, которые всё активнее осваивают нишу отопительного оборудования малой (до 10 кВт) мощности. По оценкам производителей, в 2006 г. около 75 % установок бытового назначения изготовлены по технологии PEM, остальные 25 % – на основе SOFC.

Благодаря своим качествам использование электрохимических генераторов становится оптимальным решением при автономном тепло- и электроснабжении высотных зданий, в частности, городского элитного жилья, для которого высокие шумовые показатели дизельных и газопоршневых установок до сих пор являлись базовой преградой при сооружении крышных мини-ТЭЦ.

До недавнего времени широкому распространению топливных элементов мешал только фактор цены: их стоимость составляла в среднем 3÷4,5 тыс. долл. за 1 кВт установленной электрической мощности, а конкурентоспособная стоимость – около 1,5 тыс. долл./кВт. Сейчас некоторые разработчики крупных энергоблоков уже добились снижения стоимости до 700÷800 долл./кВт установленной мощности.

Применение топливных элементов

Топливные элементы первоначально применялись только в космической отрасли, однако в настоящее время сфера их применения непрерывно расширяется. Их применяют в стационарных электростанциях, в качестве автономных источников тепло- и электроснабжения зданий, в двигателях транспортных средств, в качестве источников питания ноутбуков и мобильных телефонов. Часть этих устройств пока не покинула стен лабораторий, другие уже коммерчески доступны и давно применяются.

Примеры применения топливных элементов

Область применения	Мощность	Примеры применения
Стационарные установки	5÷250 кВт и выше	Автономные источники тепло- и электроснабжения жилых, общественных и промышленных зданий, источники бесперебойного питания, резервные и аварийные источники электроснабжения
Портативные установки	1÷50 кВт	Дорожные указатели, грузовые и железнодорожные рефрижераторы, инвалидные коляски, тележки для гольфа, космические корабли и спутники
Транспорт	25÷150 кВт	Автомобили и другие транспортные средства, военные корабли и подводные лодки
Портативные устройства	1÷500 Вт	Мобильные телефоны, ноутбуки, карманные компьютеры, различные бытовые электронные устройства, современные военные приборы

ОСНОВНЫЕ РАЗРАБОТЧИКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

На базе топливных элементов широко используются высокомоощные энергетические установки. В основном такие установки работают на основе элементов на базе расплавленных карбонатов, фосфорной кислоты и твердых оксидов. Как правило, такие установки используют не только для выработки электроэнергии, но и для получения тепла. Основные производители – это компании «UTC» (Тайвань), «Fuel Cell Energy» (США), «Siemens Westinghouse Power Corporation» и «Ballard» (Канада).

Большие усилия прилагаются для разработки гибридных установок, в которых высокотемпературные топливные элементы комбинируются с газовыми турбинами. КПД таких установок может достигать 74,6 % при усовершенствовании газовых турбин.

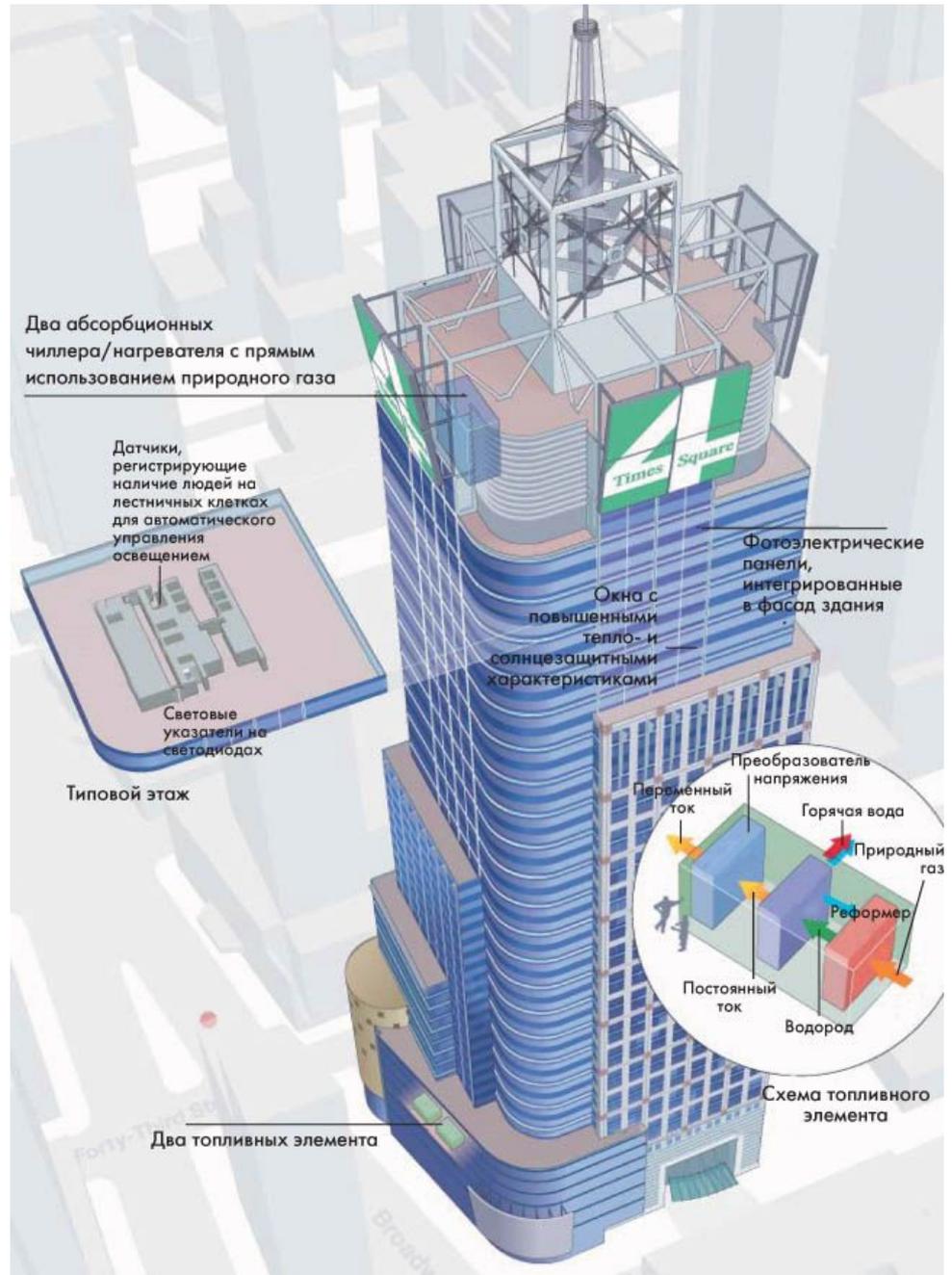
Также активно выпускаются маломощные установки. Основной производитель – японская компания «Ebara», дочерняя компания канадской фирмы «Ballard». Компания выпускает установки мощностью 1 кВт. Похожую установку на базе фосфорно-кислотных топливных элементов выпускает другая японская компания «Fuji Electric». Более мощную установку на 4,6 кВт представила на рынок компания «Vaillant Group» (Германия). Она вырабатывает не только электрическую но и тепловую

Основными разработчиками портативных источников питания на базе микротопливных твердополимерных элементов являются компании «Medis Technologies» (Израиль – США), «Angstrom Power» (Канада), «Hitach Maxel» (Япония), «DoCoMo – Aquafairy» (Япония), «Nea Power System» (США), «CEA» (Франция), «Fraunhofer Institut» (Германия). Среди российских компаний, занимающихся разработкой аналогичных источников питания, следует упомянуть ассоциацию «Аспект».



Верхние этажи здания с интегрированными фотоэлектрическими панелями

Схема здания-небоскреба Манхэттена высотой 264 м «Conde Nast Building@Four Times Square»



МИКРОТУРБИНЫ

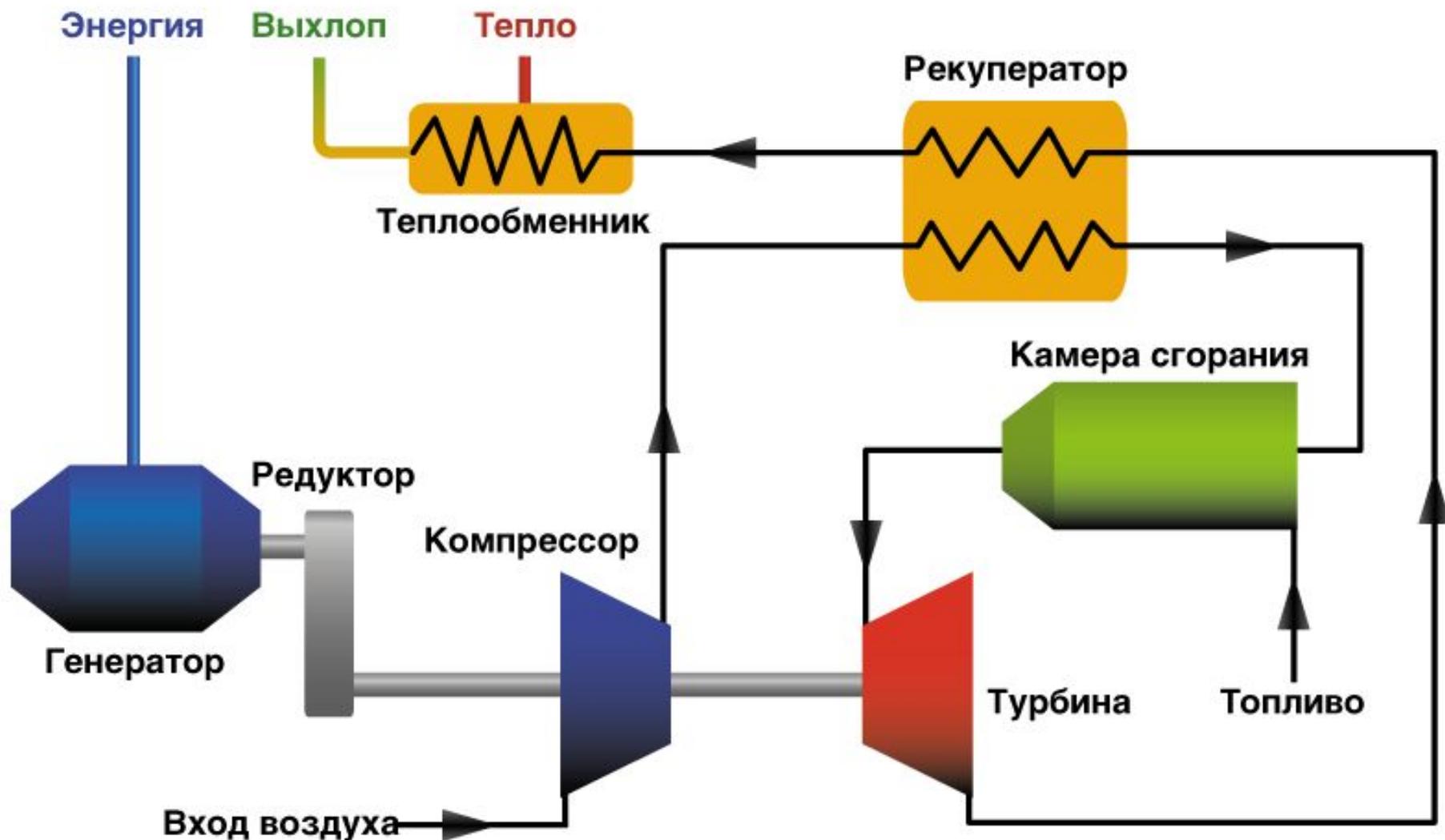
Микротурбина (микротурбогенератор) – компактная турбина. Отчасти, успех микротурбин обусловлен развитием электроники, делающей возможной работу оборудования без вмешательства человека. Микротурбины применяются в самых сложных проектах автономного

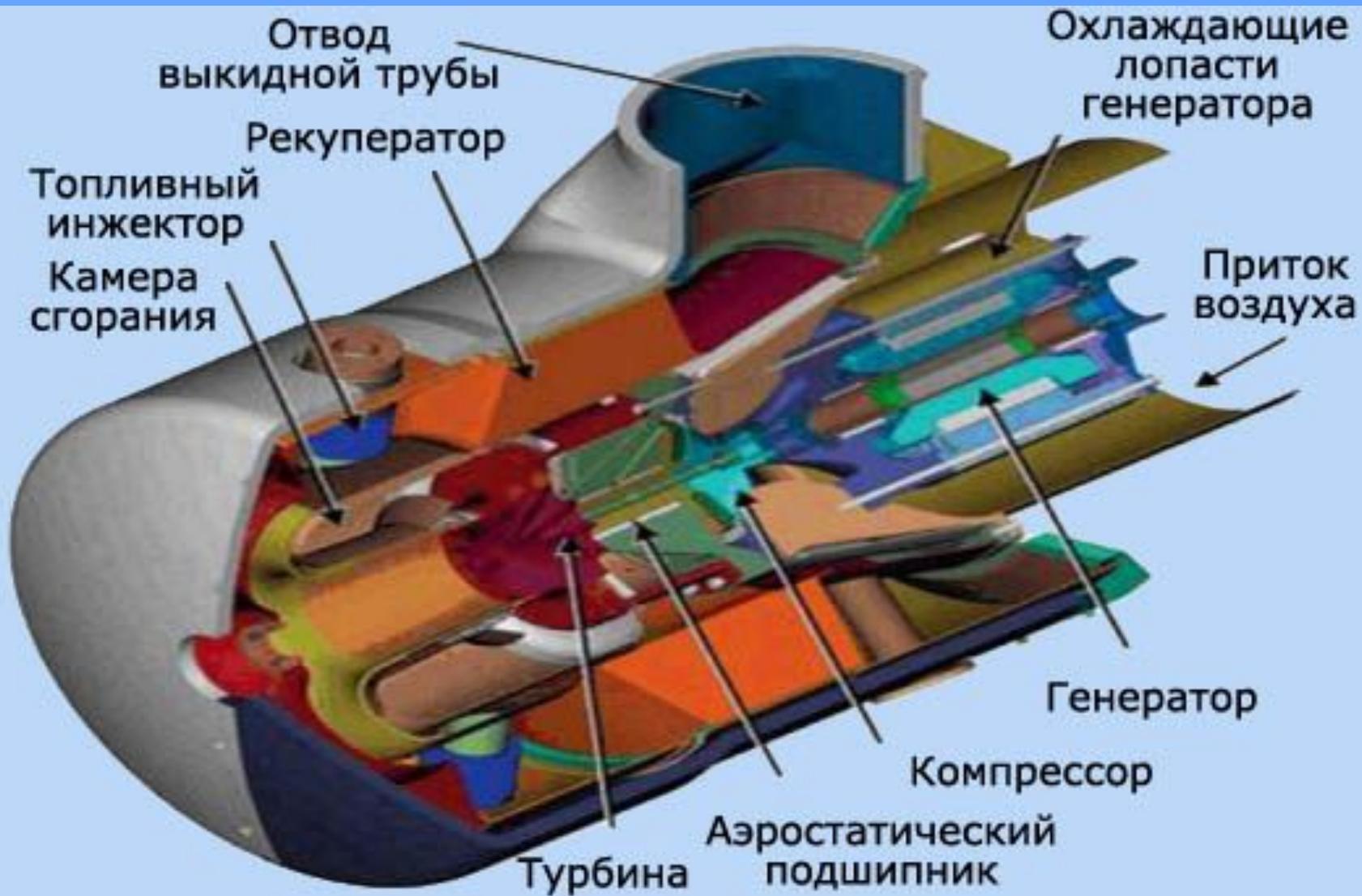


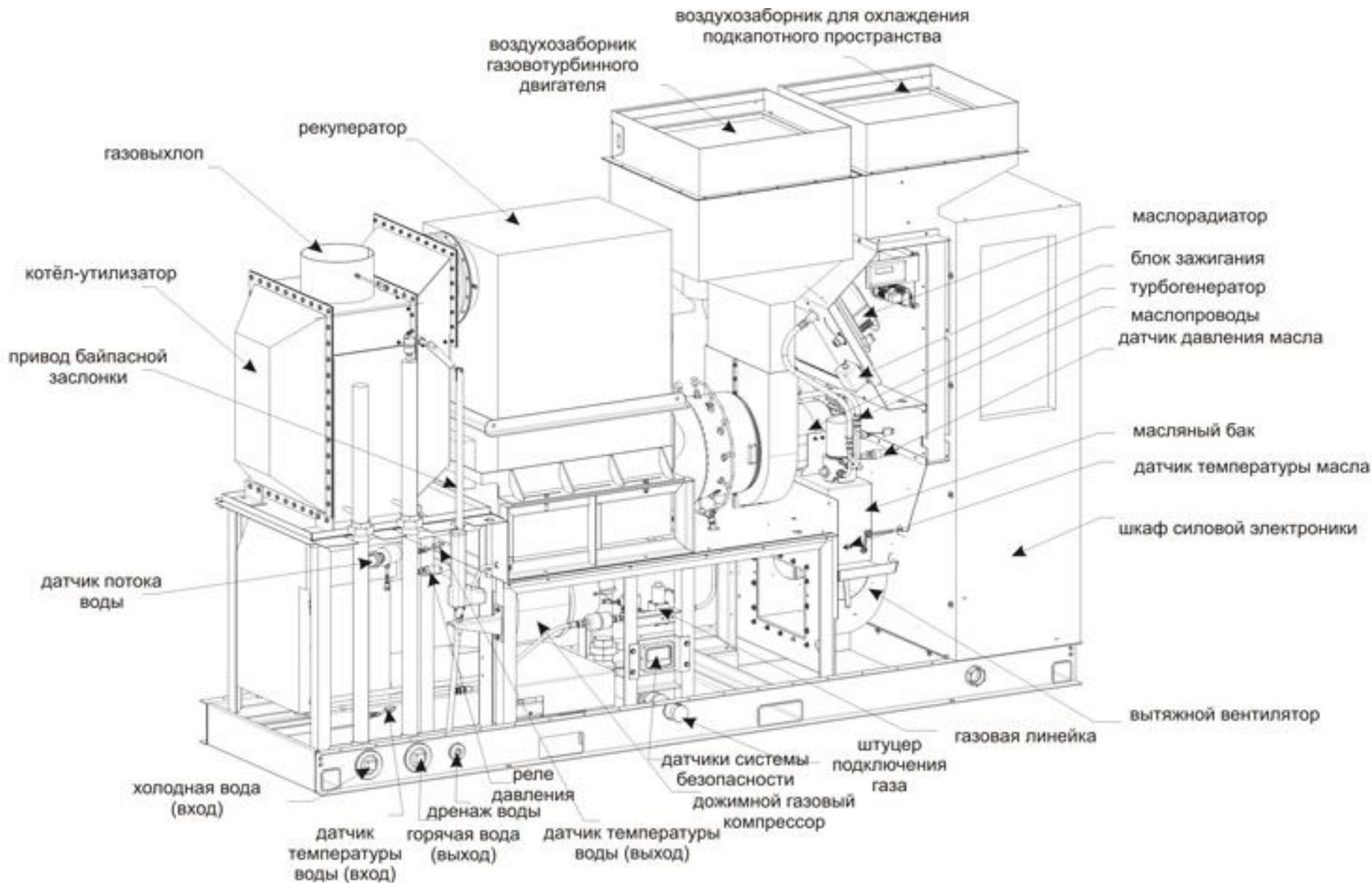


Микротурбинная установка представляет собой компактную и бесшумную теплоэлектростанцию, размещенную в едином модульном блоке контейнерного типа, защищенном от внешних воздействий погодных условий, шума и оборудованном теплоизоляцией (габариты **Capstone Micro Turbine C30** составляют 1900 x 714 x 1344).

Схема теплового цикла микротурбины







Конструктивно микротурбина напоминает уменьшенную копию стандартной газовой турбины, с усовершенствованными отдельными узлами.

Во время работы микротурбина вырабатывает тепловую и электрическую энергии, позволяя потребителю получать электричество, тепло и холод (в случае необходимости, в летний период) методом тригенерации.

Принцип действия

Воздух из атмосферы через воздухозаборник поступает в компрессор, где происходит его сжатие и нагрев, после чего он поступает в рекуператор, где происходит его дальнейший нагрев посредством отходящих выхлопных газов из турбины. Такая агрегатная компоновка внутри установки повышает электрический КПД установки до 30 %, а соотношение получаемой на установке тепловой энергии к электрической составляет 1,6 ÷ 2/1.

В отдельных случаях, когда заказчику необходимо большее количество именно тепловой энергии, а получаемая электрическая энергия второстепенна, возможна иная комплектация установки (без рекуператора). В этом случае вырабатывается порядка 14÷20 % электрической энергии. Из рекуператора нагретый и сжатый в компрессоре воздух, смешиваясь с газом, поступает в камеру сгорания. Предварительное смешение нагретого воздуха с газом очень сильно снижает уровень выбросов, доводя его до минимальных значений (около 15 ppm), особенно при неполной нагрузке установки. Образующиеся в процессе сгорания выхлопные газы поступают на колесо турбины, где расширяясь, совершают работу, приводя тем самым в движение расположенные на одном валу с турбиной компрессор и генератор. Из турбины выхлопные газы поступают в рекуператор, где нагревают выходящий из компрессора воздух, после чего направляются в котел-утилизатор, где нагревают сетевую воду до требуемых параметров.

В стандартный комплект установки входят: микротурбина с обвязкой внутри блок бокса, генератор, компрессор, рекуператор, котел-утилизатор, инвертор, система автоматического управления с пультом, аккумуляторы, система воздушного охлаждения и другое дополнительное оборудование по заказу.

Микротурбинные системы имеют множество преимуществ перед автономными электростанциями на базе поршневых двигателей: более высокая плотность мощности (с учетом занимаемых площади и веса), более низкие эмиссии, одна или несколько движущихся частей. Микротурбины Capstone разрабатываются с воздушными подшипниками и охлаждаются воздухом без использования моторного масла и смазочно-охлаждающих жидкостей. Преимущество микротурбин также заключается в том, что большая часть выделяемой тепловой энергии сосредоточена в системе выхлопа с относительно высокой температурой в то время, как выделяемое тепло возвратно-поступательных двигателей распределяется между выхлопом и охлаждающей системой.

Микротурбины могут работать на большей части промышленных топлив таких, как **природный газ**, **пропан**, **дизельное топливо** и **керосин**, также могут использоваться возобновляемые виды топлива: **E85**, **биодизель** и **биогаз**.

Тепло дымовых газов может быть использовано для подогрева воды, воздуха, в процессах осушения или в абсорбционно-холодильных машинах – АБХМ, которые генерируют холод для кондиционирования воздуха, используя бесплатную тепловую энергию вместо электрической.

КПД типовых микротурбин массового производства достигает 35 %. В режиме комбинированной генерации электричества и тепловой энергии – когенерации, может достигаться высокий коэффициент использования топлива (КИТ) > 85 %.

ПРЕИМУЩЕСТВА МИКРОТУРБИН:

- ✓ эластичность и адаптивность к восприятию электрических нагрузок в диапазоне от 1 до 100 %;
- ✓ возможность длительной работы микротурбины на предельно низкой мощности – до 1 %;
- ✓ низкий уровень эмиссий;
- ✓ отсутствие дымовых труб;
- ✓ отсутствие в микротурбинах моторного масла, смазки;
- ✓ отсутствие охлаждающих жидкостей;
- ✓ быстрое и технологичное подключение к топливным магистралям, электрическим коммуникациям и тепловым сетям;
- ✓ минимум сервисного обслуживания микротурбины – 1 день, 1 раз в году;

- ✓ низкий уровень шума;
- ✓ предельно малый уровень вибраций микротурбины;
- ✓ система дистанционного контроля;
- ✓ компактные размеры микротурбины;
- ✓ возможность размещения микротурбинной электростанции на крышах зданий;
- ✓ высокое качество производимой электроэнергии в связи с наличием инвертора;
- ✓ комбинированное производство электроэнергии и тепла (когенерация).

Массачусетский технологический институт (MIT) начал проект разработки миллиметровых двигателей турбин в середине 1990-х, когда профессор аэронавтики и астронавтики Алан Епштейн обосновал возможность создания персональных турбин, которые будут способны удовлетворить персональные потребности современного человека в электричестве, по примеру того, как большая турбина может удовлетворить потребности небольшого города в электричестве. Согласно исследованиям профессора Епштейна существующие в настоящее время промышленные литий-ионные аккумуляторы поставляют около 120÷150 Вт·ч. Миллиметровая турбина MIT уже в ближайшем будущем будет поставлять около 500÷700 Вт·ч, в дальнейшем эта величина может вырасти до 1200÷1500 Вт·ч.

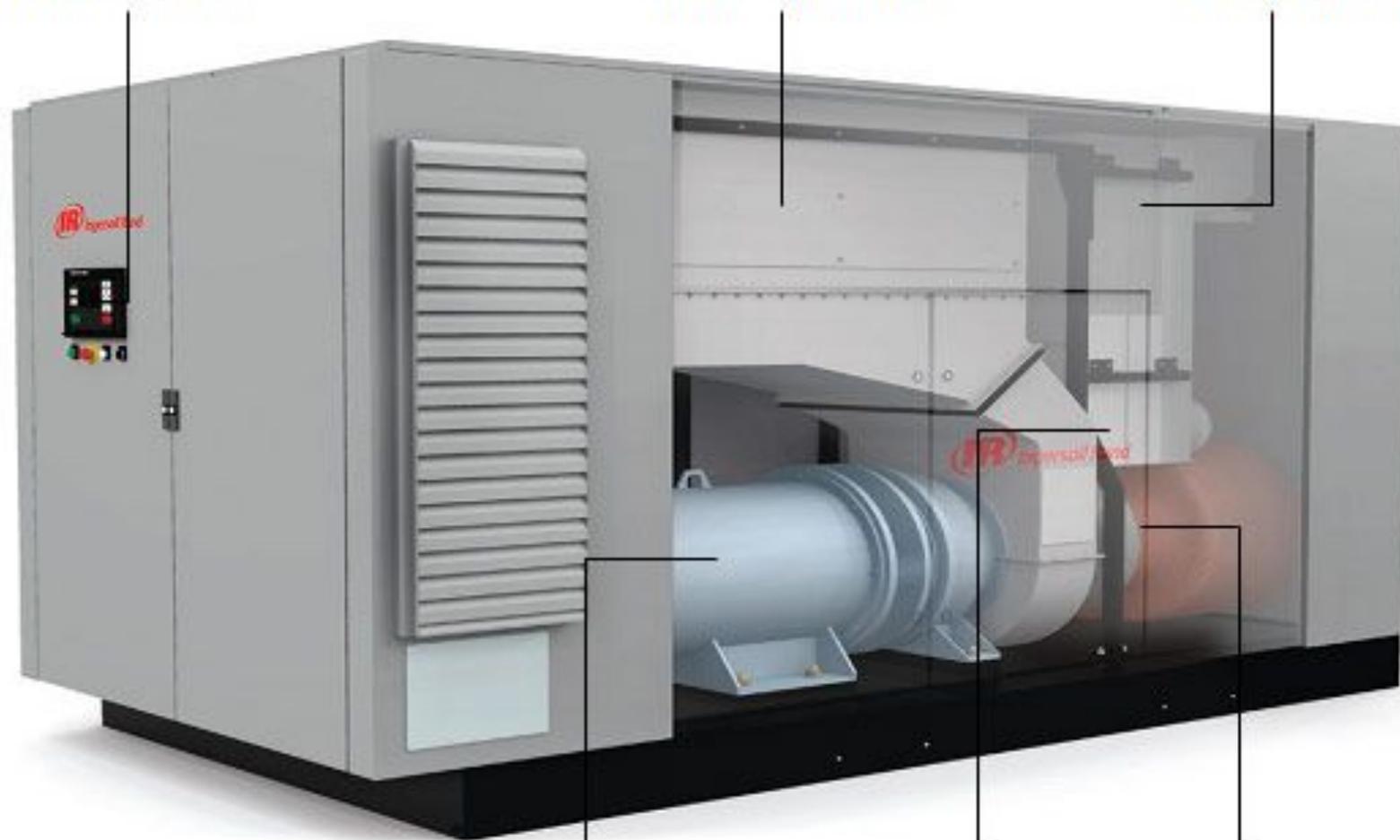




**Встраиваемая система
управления**

Теплообменник

Рекуператор



Синхронный генератор

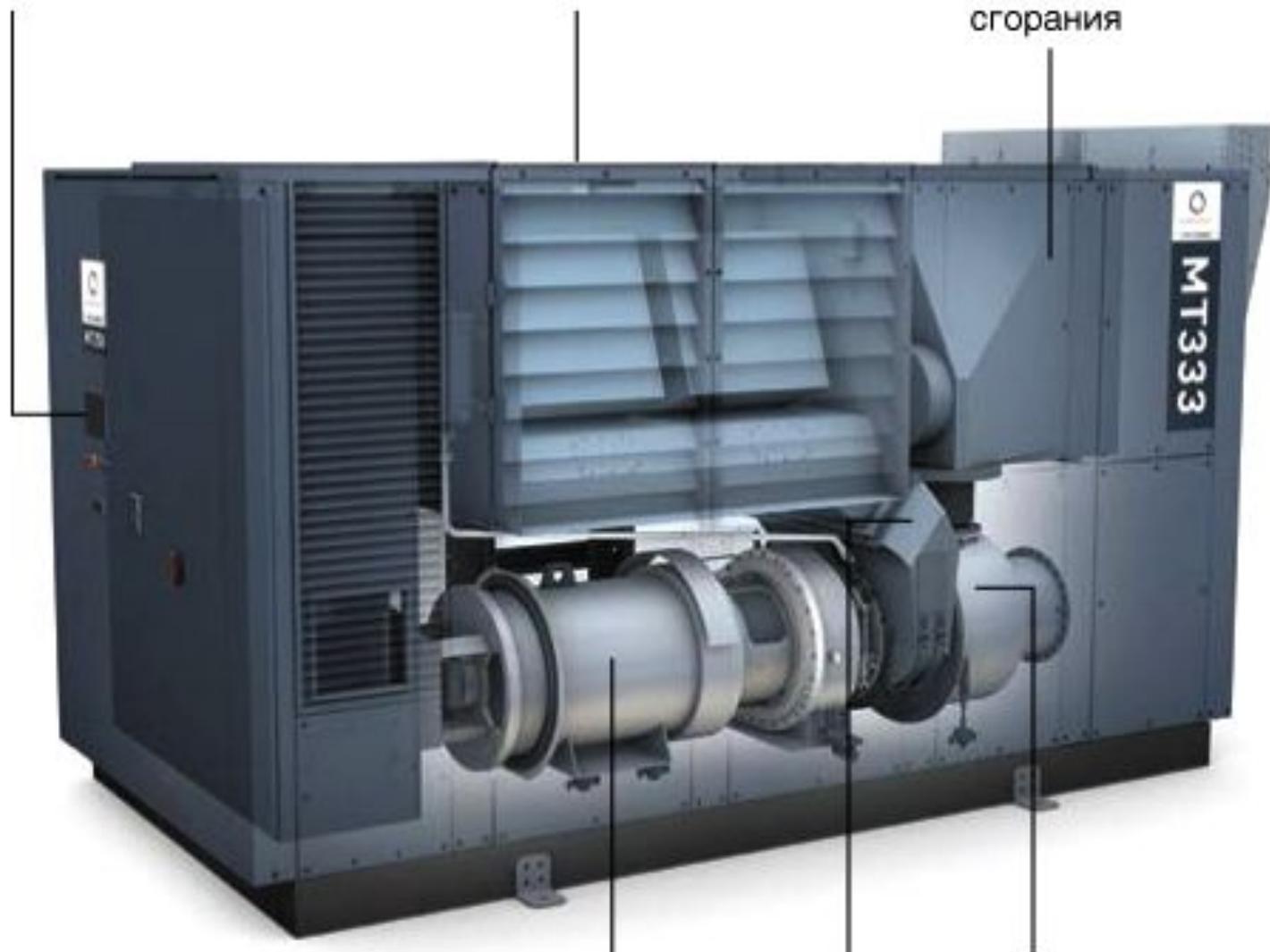
Камера сгорания

**Газотурбинный
двигатель**

Система
управления

Водогрейный
утилизатор

Рекуператор
в сборе с камерой
сгорания



Синхронный генератор

Редуктор

Газотурбинный
двигатель





ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Проведенный анализ применимости ГПА, ГТУ и ТЭ для целей создания мини-ТЭЦ позволяет сделать следующие

Выводы.

Применение ГПА в составе мини-ТЭЦ может быть рационально в следующих случаях:

- на предприятиях, имеющих технологическую потребность в тепловой энергии в виде пара (до 10÷12 бар и 180÷200 °С) и горячей воды круглый год;
- на предприятиях, имеющих технологическую потребность в холоде круглый год;
- в отопительных и промышленно-отопительных котельных для покрытия собственных нужд по электроэнергии и частично (полностью) тепловой нагрузки горячего водоснабжения;
- на газодобывающих предприятиях для использования остаточного низконапорного газа, который экономически невыгодно транспортировать, для выработки электроэнергии и тепла в районе добычи газа;

- предприятиях нефтедобывающей промышленности для утилизации попутного нефтяного газа;
- предприятиях угольной промышленности для утилизации шахтного газа, что позволяет избежать выброса метана в атмосферу и выработать электроэнергию и теплоту в районе добычи угля;
- предприятиях, имеющих большое количество разнообразных биоотходов, для их утилизации и выработки тепловой и электрической энергии. В этом случае часть тепловой энергии идет на нагрев отходов, что ускоряет производство биогаза;
- совместно с установками, в которых происходит дросселирование природного газа (турбодетандерной, ГРП и др.) для выработки электроэнергии и теплоты;

Применение мини-ТЭЦ с ГТУ может быть рационально в следующих случаях:

□ при модернизации малой отопительной или промышленно-отопительной котельной с тепловой мощностью 50÷180 Гкал/ч;

□ на предприятиях, имеющих технологическую потребность в тепловой энергии круглый год и подвод газа высокого давления;

□ при малых мощностях (20÷450 кВт – микротурбины) для утилизации биоотходов животноводческих ферм и птицефабрик.

Когенерационные установки с ТЭ. Наиболее высокие качество вырабатываемой электрической энергии и экологические характеристики имеют энергоустановки на основе ТЭ. Высокие капитальные затраты за один киловатт установленной мощности (4000÷5000 \$/кВт) при относительно небольшом заявленном их ресурсе (20÷50 тыс ч), а также небольшая мощность серийно выпускаемых ТЭ (до 200 кВт) сдерживают их широкое внедрение.

Однако следует учесть, что производители ТЭ активно и успешно работают над увеличением ресурса и расширением коммерческой линейки мощностного ряда ТЭ, а прогнозируемое повышение цен на углеводородное топливо, при одновременном ужесточении экологических норм, делает КЭУ с ТЭ весьма привлекательными.

В настоящее время такие установки нашли ограниченное применение преимущественно для автономного энергоснабжения дач и коттеджей.

Мини-ТЭЦ на базе двигателя Стирлинга

Двигатель Стирлинга – тепловая машина, в которой жидкое или газообразное рабочее тело движется в замкнутом объёме, разновидность двигателя внешнего сгорания. Принцип действия основан на периодическом нагреве и охлаждении рабочего тела с извлечением энергии из возникающего при этом изменения объёма рабочего тела. Двигатель может работать не только от тепла сжигания топлива, но и от любого другого источника тепла.

Двигатель Стирлинга был впервые запатентован шотландским священником Робертом Стирлингом 27 сентября 1816 года (английский патент № 4081).

Основной принцип работы двигателя Стирлинга заключается в постоянно чередуемых нагревании и охлаждении рабочего тела в закрытом цилиндре. Обычно в роли рабочего тела выступает воздух, но также используются водород и гелий.

"Стирлинги" могут использоваться в качестве энергоустановок на космических спутниках, применяться как маршевые двигатели на современных подводных лодках.



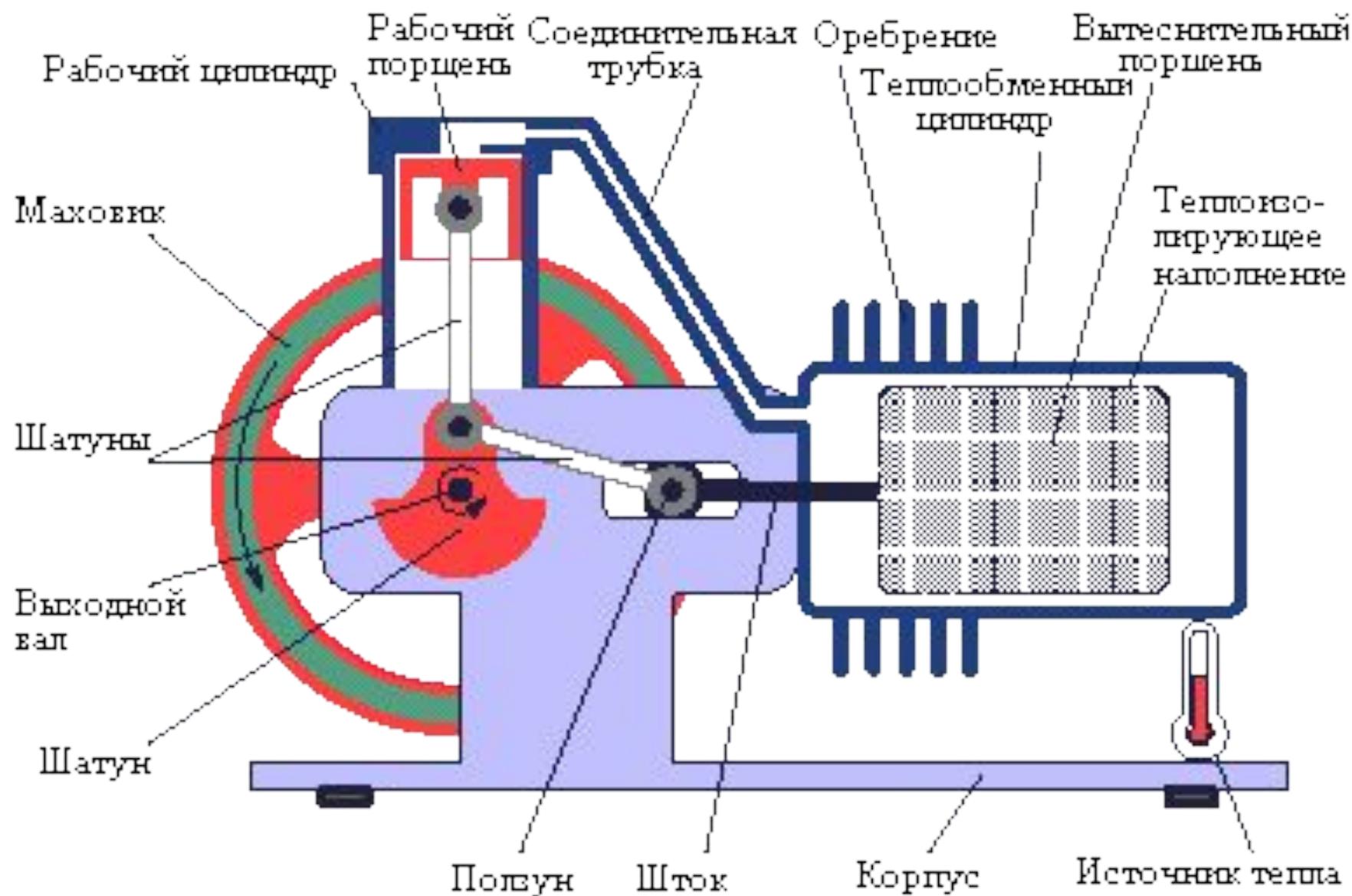


Схема двигателя Стирлинга

Источник тепла нагревает газ в правой части теплообменного цилиндра. Газ расширяется и через трубку оказывает давление на рабочий поршень. Поршень опускается, толкает шатун и поворачивает маховик. При этом одновременно вправо двигается вытеснительный поршень. Он вытесняет газ из нагреваемой части теплообменного цилиндра в его холодную часть, которая имеет охлаждающее ребрение. Теплообменный поршень заполнен теплоизолирующим материалом. Газ остывает, создавая обратное усилие на рабочий поршень, поршень поднимается вверх и цикл повторяется сначала.

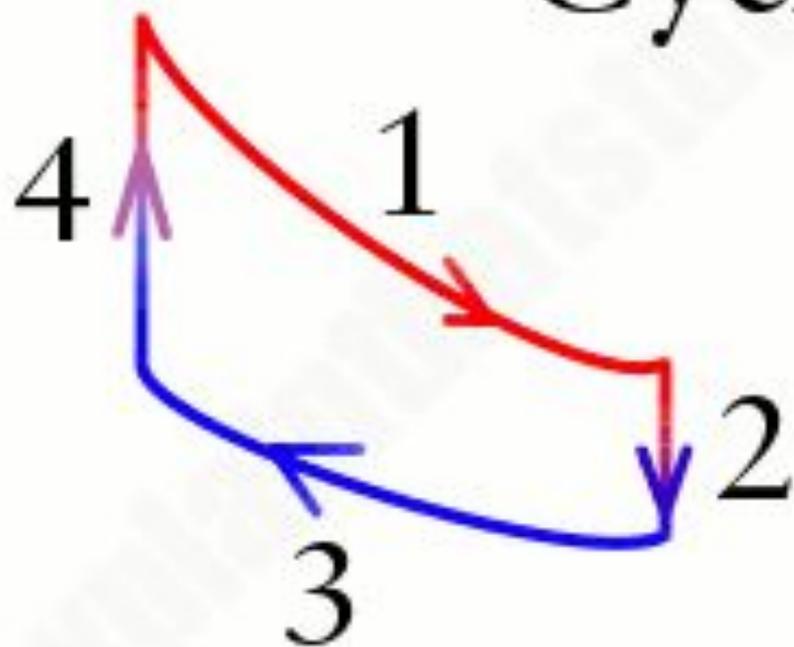
Известно, что при нагревании газа его объём увеличивается, а при охлаждении – уменьшается. Это свойство газов и лежит в основе работы двигателя Стирлинга.

Двигатель Стирлинга использует цикл Стирлинга, который по термодинамической эффективности не уступает циклу Карно, и даже обладает преимуществом. Дело в том, что цикл Карно состоит из мало отличающихся между собой изотерм и адиабат. Практическое воплощение этого цикла малоперспективно. Цикл Стирлинга позволил получить работающий на практике двигатель в приемлемых размерах.

Pressure

Stirling Cycle

www.explainthatstuff.com



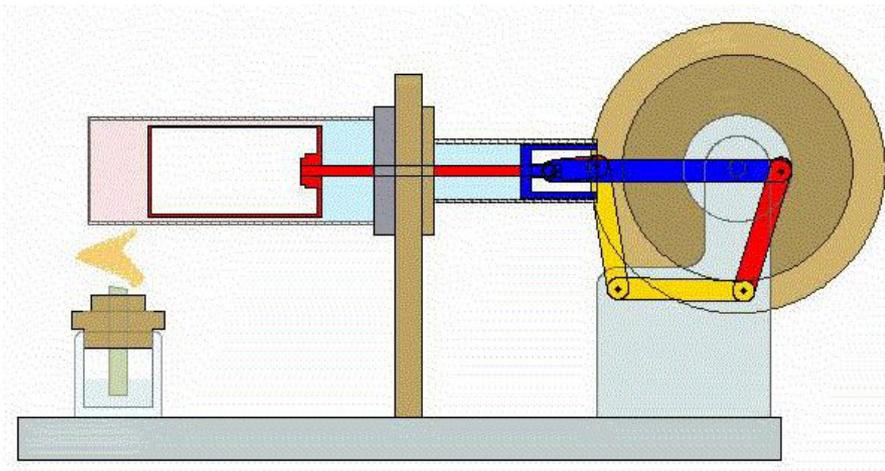
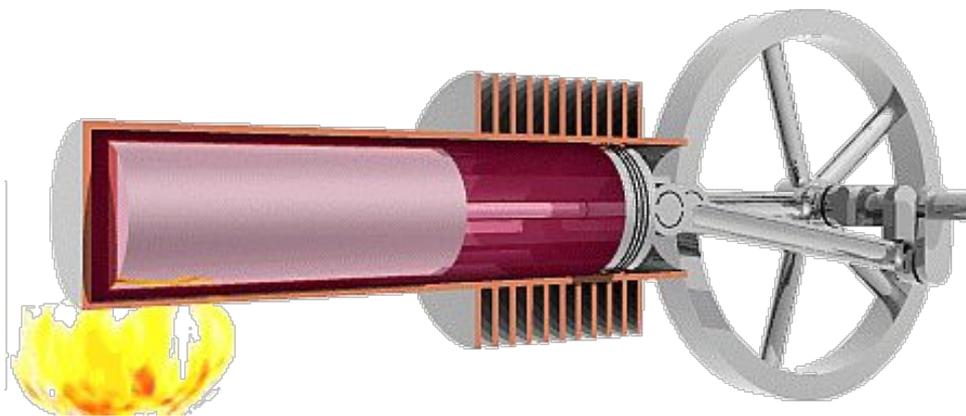
Volume

Цикл Стирлинга состоит из четырёх фаз и разделён двумя переходными фазами: нагрев, расширение, переход к источнику холода, охлаждение, сжатие и переход к источнику тепла. Таким образом, при переходе от тёплого источника к холодному источнику происходит расширение и сжатие газа, находящегося в цилиндре. При этом изменяется давление, за счёт чего можно получить полезную работу.

Нагрев и охлаждение рабочего тела (участки 4 и 2) производится вытеснителем. В идеале количество тепла, отдаваемое и отбираемое вытеснителем, одинаково. Полезная работа производится только за счёт изотерм, то есть зависит от разницы температур нагревателя и охладителя, как в цикле Карно.

Расчеты показали, что теоретически КПД двигателя Стирлинга значительно выше других моторов. «Стирлинги» отличались бесшумной работой, экономичностью и всеядностью: головка цилиндров могла обогреваться и дровами, и углем, и даже солнечными лучами. А стационарное «внешнее горение» определяло высокую экологичность. В 1945 году инженеры фирмы Philips нашли «стирлингу» обратное применение - раскрутив вал двигателя электромотором, они охладили головки цилиндров до минус 190 °С! Эта особенность двигателя Стирлинга нашла применение в промышленных холодильных установках.

Двигатель Стирлинга применим в случаях, когда необходим компактный преобразователь тепловой энергии, достаточно простой по устройству, либо когда эффективность других тепловых двигателей оказывается ниже: например, если разницы температур недостаточно для работы паровой или газовой турбины.



Микро-ТЭЦ на базе двигателя Стирлинга служит для автономного энерго- и теплообеспечения отдельно стоящего объекта.

Поршневой двигатель Стирлинга позволяет вырабатывать от 2 до 7 кВт электрической энергии и снабжать загородный дом или коттедж.

Установка может производить 3 продукта: электроэнергию, тепло и холод.

В отличие от ДВС микро-ТЭЦ безопасна, практически бесшумна, что позволяет устанавливать ее в жилом помещении, имеет КПД до 90 %, работает на местном топливе и солнечной энергии.

Микро-ТЭЦ располагается непосредственно на месте потребления электроэнергии и тепла, что сокращает риски, связанные с передачей энергии по сетям.

В сравнении с традиционными источниками электроэнергия, вырабатываемая на микро-ТЭЦ, в 4 раза дешевле.

Стоимость стандартной установки мощностью до 3 кВт составит 450 тысяч рублей, включая источник выработки тепловой энергии, что сравнимо со стоимостью подключения к центральным сетям.

В настоящее время ведется разработка мини-ТЭЦ на базе двигателя Стирлинга большей мощности от 10 до 100 кВт. Эта установка может быть использована для жилого комплекса, небольшого производства.

Микро-ТЭЦ на базе двигателя Стирлинга особенно будут востребованы на промышленных объектах, где есть излишки тепловой энергии, так как это позволяет вырабатывать дополнительную электроэнергию производства практически из отходов.

В России установки на базе двигателя Стирлинга не производятся, но они успешно производятся и применяются во многих западных странах: Германии, Дании, Италии, США, Японии.

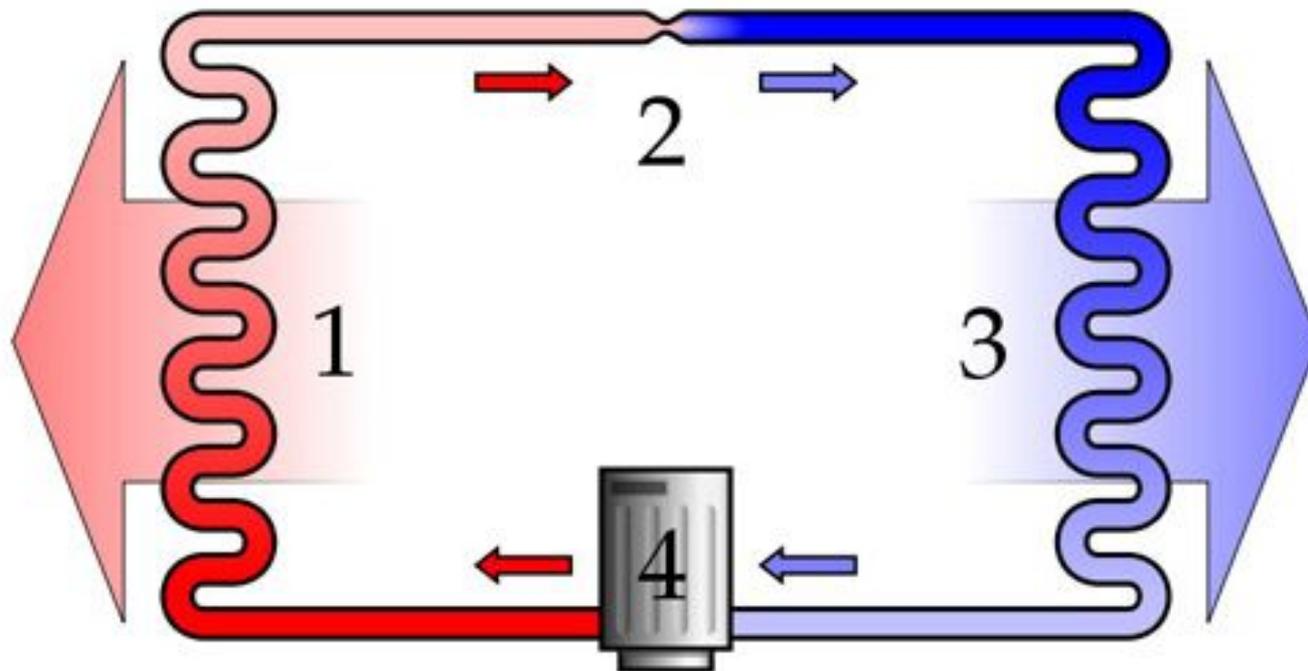
Такие установки работают на поршневом двигателе в диапазоне мощности от 0,5 до 7 кВт.

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ

Тепловой насос (ТНУ) – устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой. Например, тепловой насос преобразует низкопотенциальное тепло грунта, водоемов или воздуха в тепло для системы отопления и горячего водоснабжения. ТНУ обладает более высоким, в сравнении с другими системами теплоснабжения, коэффициентом эффективности.

Такая установка не только отапливает помещения и обеспечивает нужды горячего водоснабжения (ГВС), но и способна охлаждать дом в летнее время.

Термодинамически тепловой насос аналогичен холодильной машине. Однако если в холодильной машине основной целью является производство холода путём отбора теплоты из какого-либо объёма испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе картина обратная. Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель – теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту: вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии.



1 – конденсатор, 2 – дроссель, 3 – испаритель, 4 – компрессор

Принцип действия компрессионного теплового насоса заключается в следующем: теплоноситель, циркулируя во внешнем контуре установки (для установки грунтового типа это могут быть заложенные в скважину тонкие трубы либо расположенные петлями на глубине нескольких метров от поверхности контур), «снимает» низкопотенциальное тепло. Нагреваясь всего на несколько градусов, он попадает в теплообменник и передает тепло во второй контур, в котором также циркулирует теплоноситель. Во втором контуре, теплоноситель с тем количеством теплоты, переданным от теплоносителя из внешнего контура, проходит через компрессор, который создает давление. В результате повышения давления его температура при том же объеме увеличивается в разы, благодаря чему в следующем за компрессором конденсаторе теплоноситель способен передать воде из внутреннего контура, то есть контура отопления и горячего

Основу эксплуатируемого сегодня в мире парка теплонасосного оборудования составляют **парокомпрессионные** тепловые насосы, но применяются также и **абсорбционные, электрохимические** и **термоэлектрические**. Эффективность тепловых насосов принято характеризовать величиной безразмерного **коэффициента трансформации энергии $K_{тр}$** , определяемого для идеального цикла Карно по следующей формуле:

$$K_{тр} = \frac{T_{вых}}{T_{вх}}$$

где $T_{вых}$ – температура на выходе насоса (температурный потенциал тепла, отводимого в систему отопления или теплоснабжения), К; $T_{вх}$ – температура на входе насоса (температурный потенциал источника тепла), К. Коэффициент трансформации теплового насоса, или теплонасосной системы теплоснабжения (ТСТ), $K_{тр}$ представляет собой отношение полезного тепла, отводимого в систему теплоснабжения потребителю, к энергии, затрачиваемой на работу теплонасосной системы теплоснабжения, и численно равен количеству полезного тепла, получаемого при температурах $T_{вых}$ и $T_{вх}$, на единицу энергии, затраченной на привод ТН или ТСТ.

$$K_{mp} = \frac{Q_n}{A}$$

Здесь Q_n – тепловая энергия резервуара;
 A – работа, совершенная насосом.

Тепловой насос должен использовать по возможности более ёмкий источник низкопотенциального тепла, не стремясь добиться его сильного охлаждения. В самом деле, при этом растёт эффективность теплового насоса, поскольку при слабом охлаждении источника тепла сохраняется возможность теплу самопроизвольно перетекать от источника низкопотенциального тепла к теплоносителю. По этой причине тепловые насосы делают так, чтобы запас теплоты ($C \cdot m \cdot T$, где c - теплоёмкость, m - масса, T - температура) низкопотенциального источника тепла был бы как можно больше.

ТИПЫ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В зависимости от принципа работы тепловые насосы подразделяются на **компрессионные** и **абсорбционные**. Компрессионные тепловые насосы всегда приводятся в действие с помощью механической энергии (электроэнергии), в то время как абсорбционные тепловые насосы могут также использовать тепло в качестве источника энергии (с помощью электроэнергии или топлива).

В зависимости от источника отбора тепла тепловые насосы подразделяются на:

1) **Геотермальные** (используют тепло земли, наземных либо подземных грунтовых вод);

а) замкнутого типа

□ горизонтальные

Горизонтальный геотермальный тепловой насос
Коллектор размещается кольцами или извилисто в горизонтальных траншеях ниже глубины промерзания грунта (обычно от 1,20 м и более). Такой способ является наиболее экономически эффективным для жилых объектов при условии отсутствия дефицита земельной площади под контур.

□ *вертикальные*

Коллектор размещается вертикально в скважины глубиной до 200 м. Этот способ применяется в тех случаях, когда площадь земельного участка не позволяет разместить контур горизонтально или существует угроза повреждения ландшафта.

□ *водные*

Коллектор размещается извилисто либо кольцами в водоеме (озере, пруду, реке) ниже глубины промерзания. Это наиболее дешевый вариант, но есть требования по минимальной глубине и объёму воды в водоеме для конкретного региона.

□ с непосредственным теплообменом (DX — сокр. от англ. *direct exchange* – «прямой обмен»).

В отличие от предыдущих типов, хладагент компрессором теплового насоса подаётся по медным трубкам, расположенным:

- вертикально в скважинах длиной 30 м и диаметром 80 мм;
- под углом в скважинах длиной 15 м и диаметром 80 мм;
- горизонтально в грунте ниже глубины промерзания.

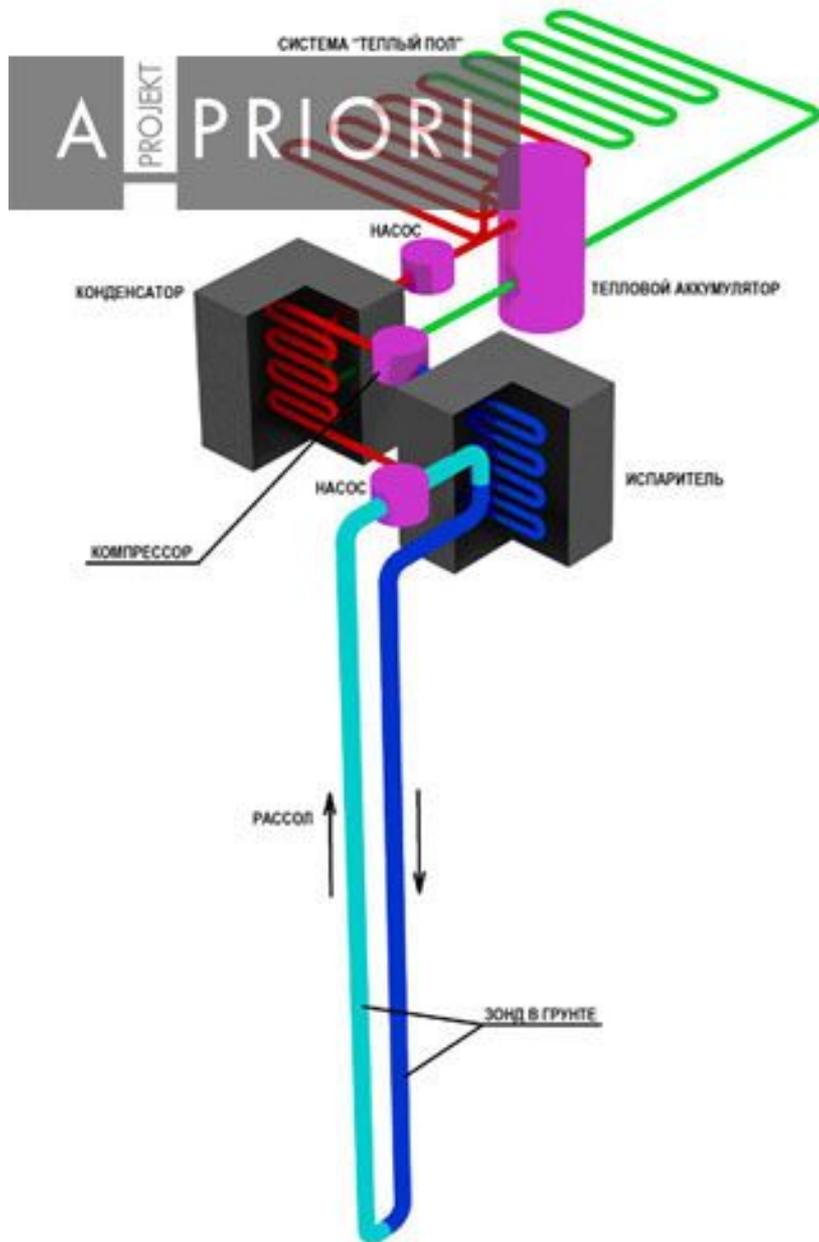
Реальный коэффициент трансформации отличается от идеального, описанного формулой, на величину коэффициента h , учитывающего степень термодинамического совершенства ТСТ и необратимые потери энергии при реализации цикла.

В общем случае степень термодинамического совершенства теплонасосных систем теплоснабжения h зависит от многих параметров, таких как: мощность компрессора, качество производства комплектующих теплового насоса и необратимых энергетических потерь, которые, в свою очередь, включают: – потери тепловой энергии в соединительных трубопроводах; – потери на преодоление трения в компрессоре; – потери, связанные с неидеальностью тепловых процессов, протекающих в испарителе и конденсаторе, а также с неидеальностью теплофизических характеристик хладагентов; – механические и электрические потери в двигателях и прочее.

Таблица 1-1 Эффективность некоторых типов компрессоров, используемых в современных теплонасосных системах теплоснабжения

Мощность, кВт	Тип компрессора	Степень термодинамического совершенства h
300–3000	Открытый центробежный	0,55-0,75
50-500	Открытый поршневой	0,5-0,65
20-50	Полугерметичный	0,45-0,55
2-25	Герметичный, с R-22	0,35-0,5
0,5-3,0	Герметичный, с R-12	0,2-0,35
<0,5	Герметичный	<0,25

Как и холодильная машина, тепловой насос потребляет энергию на реализацию термодинамического цикла (привод компрессора). Коэффициент преобразования теплового насоса – отношение теплопроизводительности к электропотреблению – зависит от уровня температур в испарителе и конденсаторе. Температурный уровень теплоснабжения от тепловых насосов в настоящее время может варьироваться от 35 °С до 62 °С . Это позволяет использовать практически любую систему отопления. Экономия энергетических ресурсов достигает 70 %. Промышленность технически развитых стран выпускает широкий ассортимент парокомпрессионных тепловых насосов тепловой мощностью от 5 до 1000 кВт.



По виду теплоносителя во внешнем и внутреннем контурах ТНУ делят на шесть типов: «грунт-вода», «вода-вода», «воздух-вода», «грунт-воздух», «вода-воздух», «воздух-воздух». Выбор конкретного типа ТНУ осуществляется в зависимости от климатических условий и условий установки.



Преимущества теплонасосной установки

- Тепловой насос экономичен, так как при потреблении 1 кВт электроэнергии выдает от 3 до 5 кВт тепловой энергии;
- Тепловой насос может работать как на обогрев и обеспечение ГВС, так и в качестве кондиционера;
- Тепловой насос надёжен, его работой управляет автоматика, при помощи которой осуществляется контроль и регулирование температуры в обогреваемых помещениях;
- Тепловой насос компактен и практически бесшумен;
- Особенно удобен тепловой насос в сочетании с системой «теплый пол» и при применении теплового аккумулятора (например, бойлер), запасящего и перераспределяющего тепловую энергию в течение суток.

В борьбе за экологию число тепловых насосов в мире растет с каждым годом. По приблизительным подсчетам, на настоящий момент установлено порядка 100 млн. тепловых насосов во всем мире. Широко распространены они в США, Японии и странах ЕС. *В этих странах существуют даже строительные нормы, которые предусматривают обязательное использование тепловых насосов при строительстве новых домов и зданий. В некоторых странах, например, Швеции, системы отопления на базе тепловых насосов составляют 70 % всех систем отопления. А в России?*

