



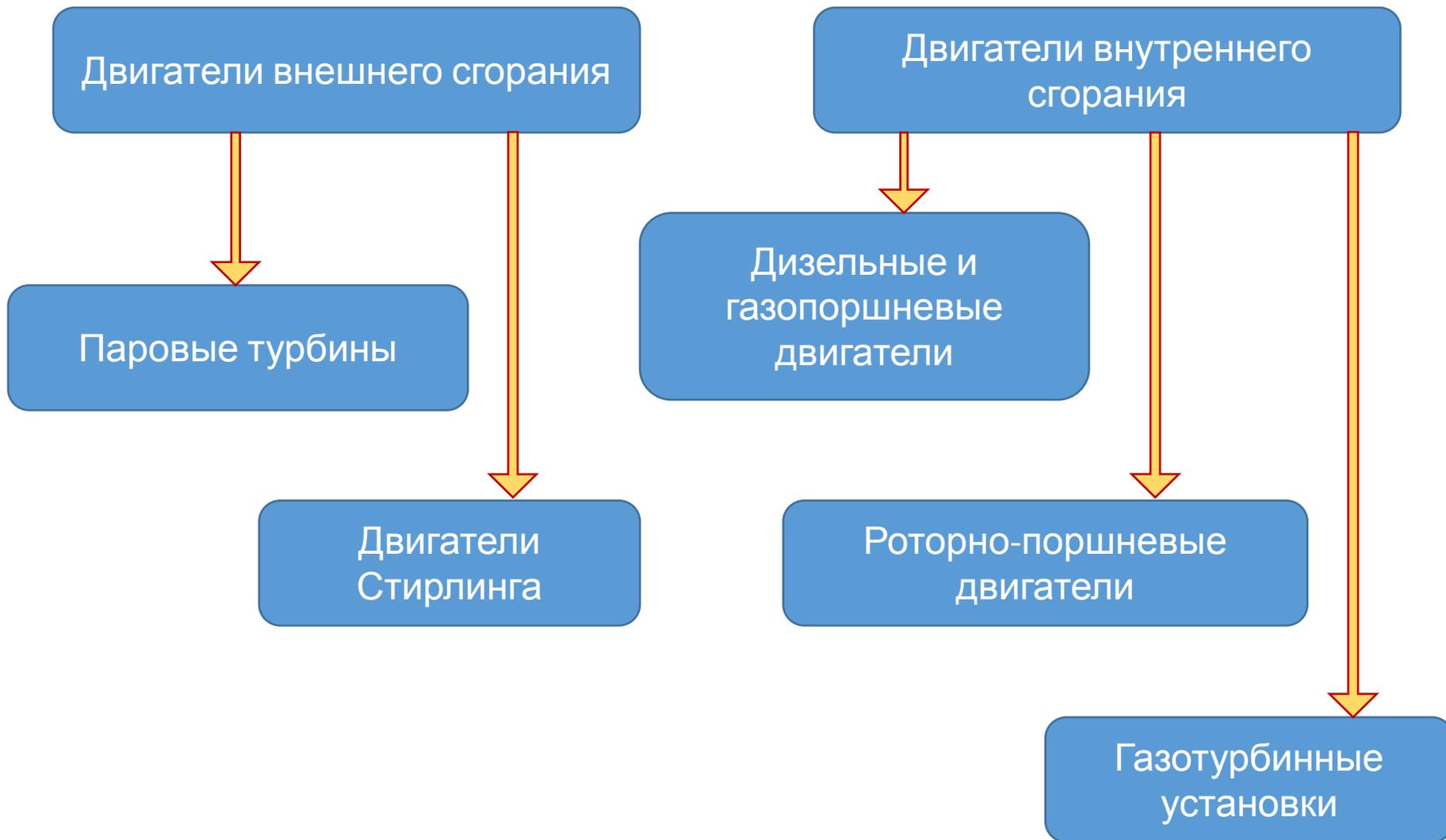
Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук



Возобновляемые углеводородные ресурсы и их использование в системах распределенной энергетики

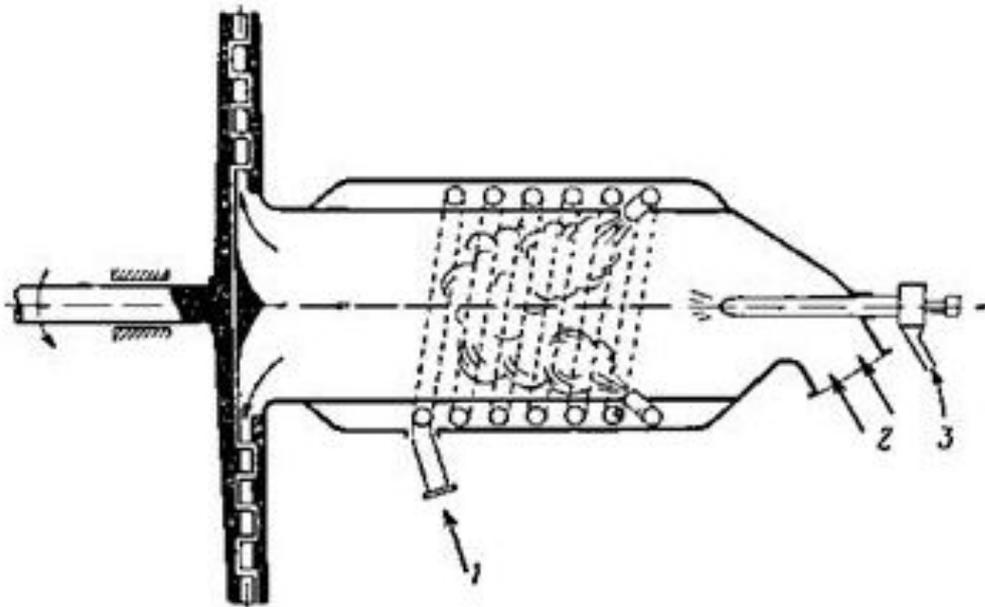
Москва, 2019

Тепловые двигатели в распределенной энергетике



Газотурбинные установки

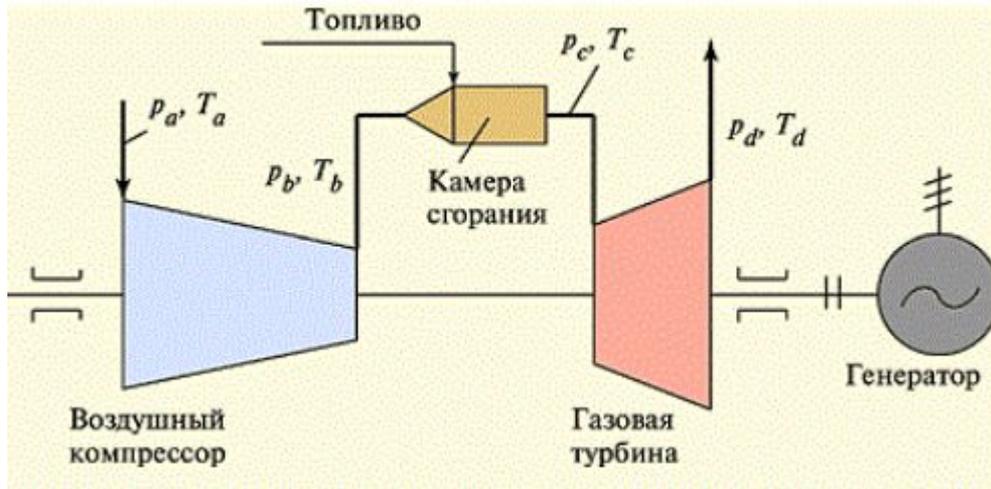
Традиционная современная газотурбинная установка (ГТУ) — это совокупность воздушного компрессора, камеры сгорания и газовой турбины, а также вспомогательных систем, обеспечивающих ее работу. Совокупность ГТУ и электрического генератора называют газотурбинным агрегатом.



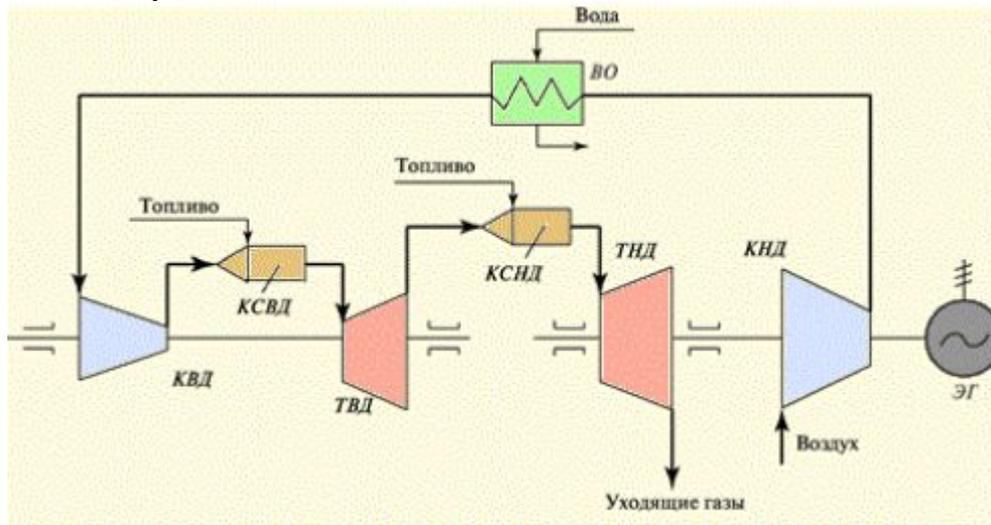
Первая в истории газовая турбина была построена в 1887 году Павлом Дмитриевичем Кузьминским и работала на парогазовой смеси. На схеме: 1 – подача воды, 2 – подача сжатого воздуха, 3 – подача топлива.

Область применения агрегатов: пиковые и резервные источники мощности, применение ГТУ в теплофикационных установках, в т.ч. в качестве надстроек в котельных, использование в комбинированном парогазовом цикле.

Устройство газовой турбины



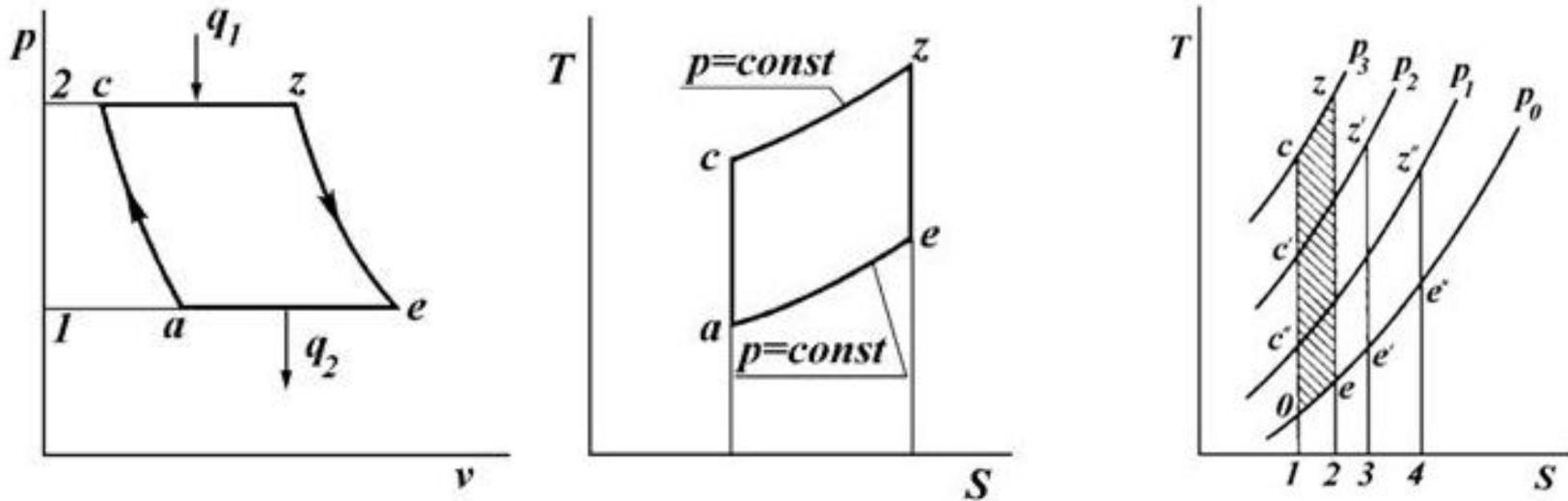
Простейшая газотурбинная установка



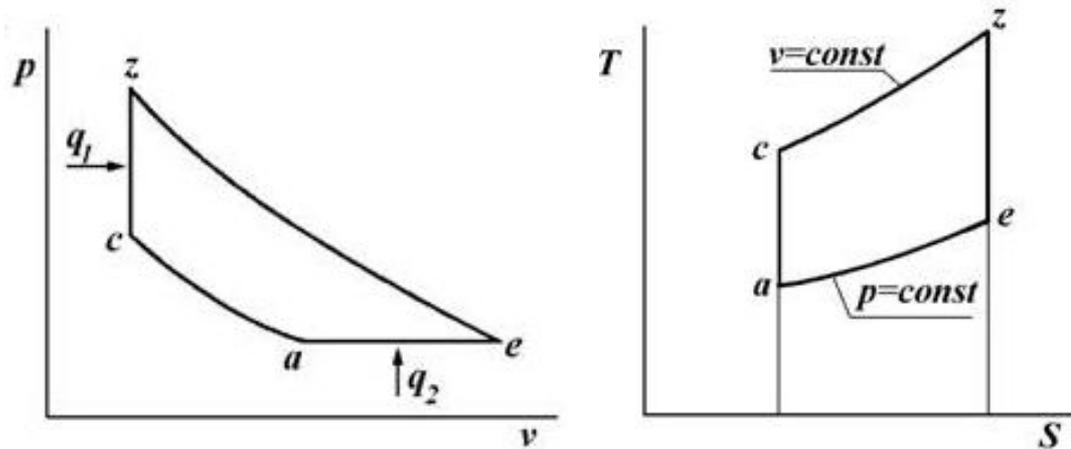
Двухцилиндровая газотурбинная установка

У двухвальной установки на одном валу расположены компрессор высокого давления КВД и приводящая его турбина высокого давления ТВД; этот вал имеет переменную частоту вращения. На втором валу расположены турбина низкого давления ТНД, приводящая компрессор низкого давления КНД и электрический генератор ЭГ; поэтому этот вал имеет постоянную частоту вращения 50 с⁻¹. Воздух в количестве 447 кг/с поступает из атмосферы в КНД и сжимается в нем до давления примерно 430 кПа (4,3 ат) и затем подается в воздухоохладитель ВО, где охлаждается водой с 176 до 35 °С. Это позволяет уменьшить работу, затрачиваемую на сжатие воздуха в компрессоре высокого давления КВД (степень сжатия = 6,3). Из него воздух поступает в камеру сгорания высокого давления КСВД и продукты сгорания с температурой 750 °С направляются в ТВД. Из ТВД газы, содержащие значительное количество кислорода, поступают в камеру сгорания низкого давления КСНД, в которой сжигается дополнительное топливо, а из нее — в ТНД. Отработавшие газы с температурой 390 °С выходят либо в дымовую трубу, либо в теплообменник для использования теплоты уходящих газов.

Термодинамический цикл ГТУ



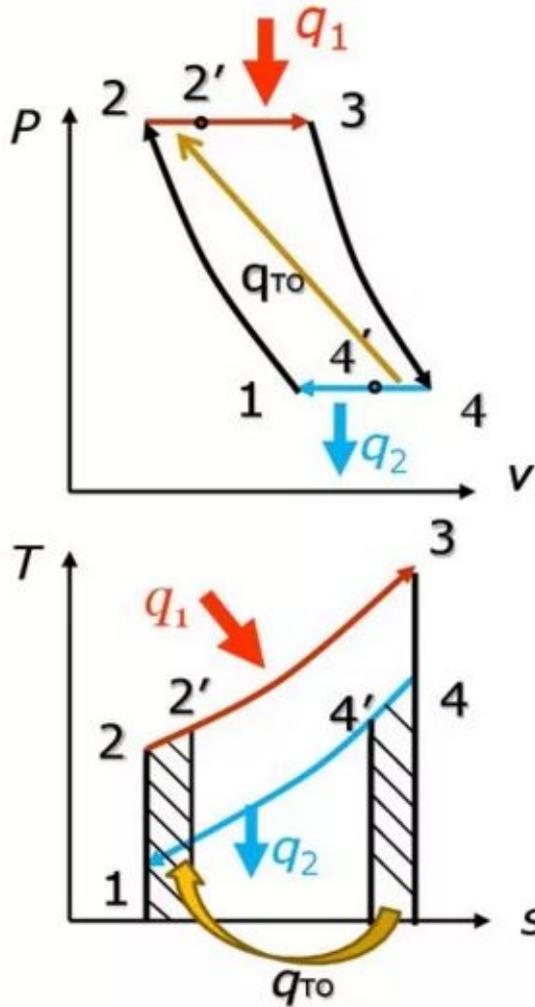
Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении (Цикл Брайтона)



Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме (цикл Гемфри)

Термодинамический цикл ГТУ с регенерацией тепла

На примере цикла Брайтона



1-2 адиабатное сжатие воздуха в компрессоре

2-2' нагрев воздуха в регенераторе за счет теплоты уходящих газов

2'-3 нагрев рабочего тела в камере сгорания при $p = \text{const}$ в процессе подвода тепла при сжигании топлива

3-4 адиабатное расширение рабочего тела в турбине

4-4' – отвод теплоты от уходящих газов в регенераторе

4-1 – охлаждение газов в атмосфере

Особенности эксплуатации ГТУ

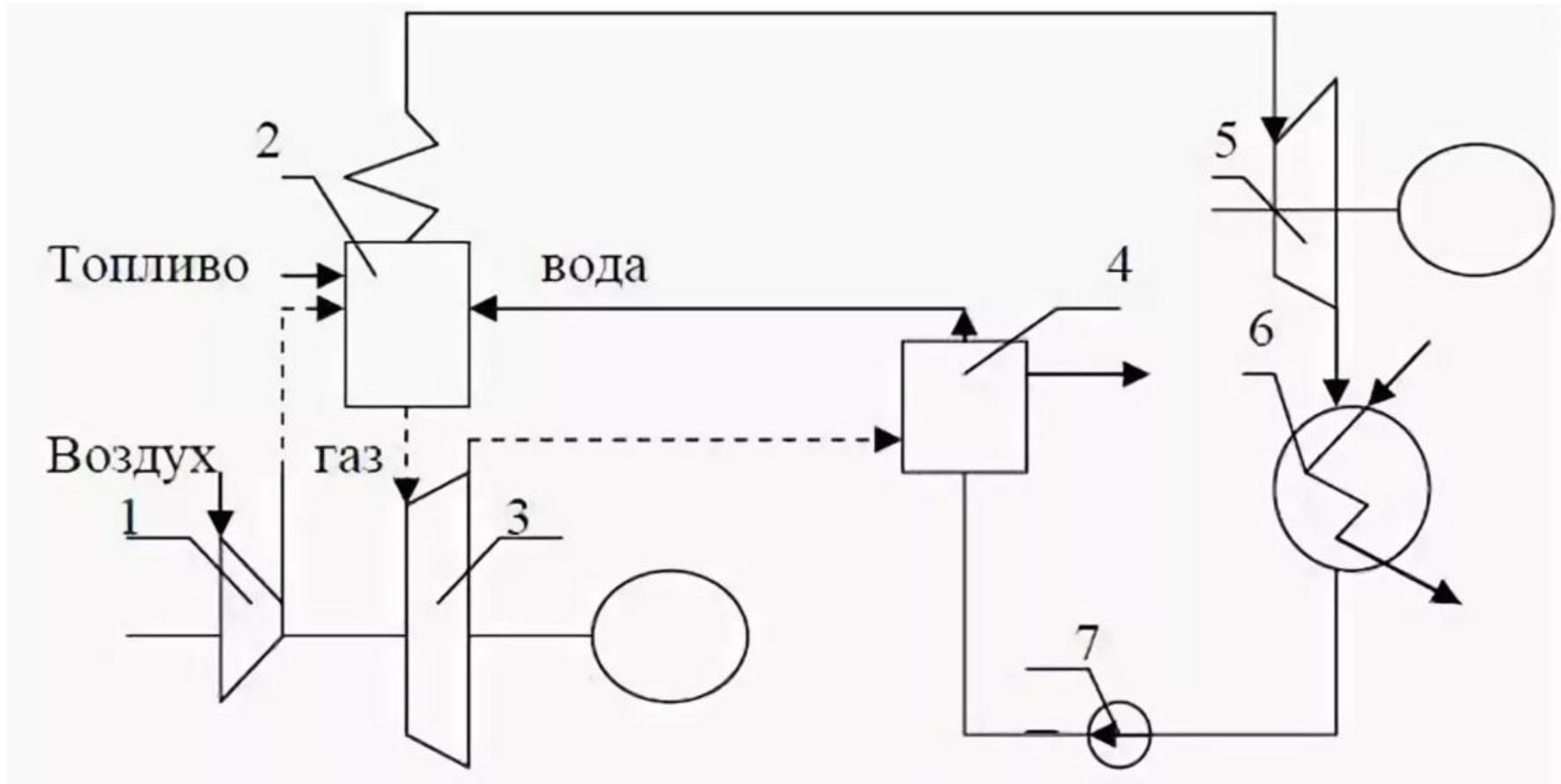
Достоинства

- Компактность – количество топливной смеси в 12-20 раз меньше, чем количество образующихся газов.
- Меньшие по сравнению с паровыми агрегатами удельные затраты на установку.
- Не требует охлаждающей воды.
- Легкий прогрев и охлаждение, быстрый запуск.
- Удобство в транспортировке.
- Более низкий расход масла, по сравнению с ГПУ.
- Высокая устойчивость к детонации.

Недостатки

- Относительно низкий КПД – до 37%.
- Высокая температура уходящих газов.
- Высокая требовательность к качеству топлива.

Использование газовых турбин в парогазовых установках



1 – компрессор, 2 – парогенератор, 3 – газовая турбина, 4 – газовойодяной
подогреватель,
5 – паровая турбина, 6 – конденсатор, 7 – водяной насос.

Особенности ПГУ

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 непосредственно у потребителя (за вода или внутри города), что сокращает затраты на ЛЭП и транспортировку эл. энергии
- Более экологически чистые в сравнении с паротурбинными установками

Недостатки ПГУ:

- Низкая единичная мощность оборудования (160—972,1 МВт на 1 блок), в то время как современные ТЭС имеют мощность блока до 1200 МВт, а АЭС 1200—1600 МВт.
- Необходимость осуществлять фильтрацию воздуха, используемого для сжигания топлива.