

Предмет **«Комбинированные энергетические установки»** главным образом посвящен изучению газовых турбин и их работе в составе парогазовых установок.

Прочитать и кратко законспектировать лекцию «Способы реализации цикла Брайтона».

Глава первая.

Газотурбинные установки

1.1. Способы реализации цикла Брайтона.

Существует две модификации цикла Брайтона, отличающиеся термодинамическими процессами подвода теплоты: цикл с подводом теплоты при постоянном давлении, сокращенно его называют цикл Брайтона $p=\text{const}$, и цикл с подводом теплоты при постоянном объеме, называемый цикл Брайтона $v=\text{const}$.

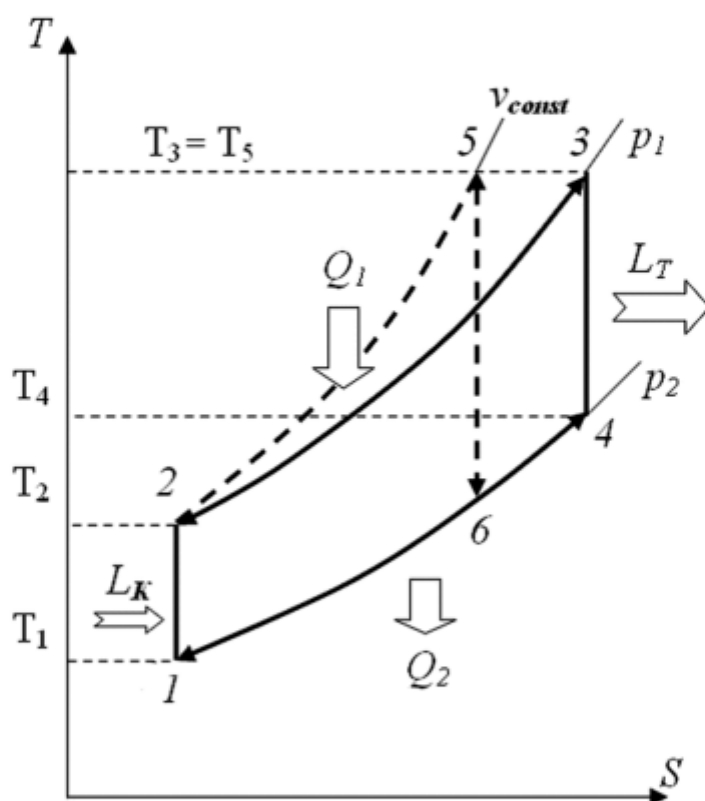


Рис. 1.1. Идеальный цикл Брайтона:
 12341 – подвод теплоты при $p=\text{const}$;
 12561 – подвод теплоты при $v=\text{const}$.

На рис. 1.1 в T, S -координатах показаны оба эти цикла, которые образуются четырьмя последовательно реализуемыми процессами:

- адиабатическим сжатием (процесс 12);

- изобарным (процесс 23) или изохорным (процесс 25) подводом теплоты;

- адиабатическим расширением (процессы 34 или 56);

- изобарным отводом тепла (процесс 41).

В процессе сжатия к циклу подводится работа L_K , при расширении отводится работа L_T . Из рис. 1.1 видно, что $L_T > L_K$, их разность и составляет полезную работу цикла. Полезная разность в работе достигнута за счет разности подведенного Q_1 и отведенного Q_2 в цикле тепла.

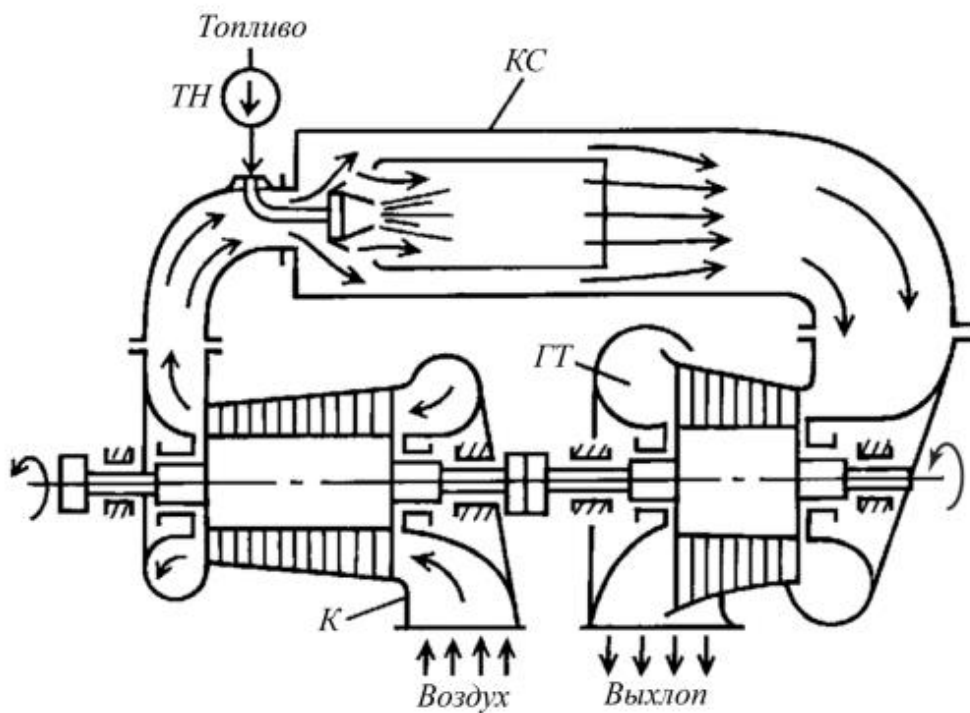


Рис. 1.2. Схема простой ГТУ непрерывного горения, реализующей цикл Брайтона $p=\text{const}$:

К – компрессор, ГТ – газовая турбина, КС – камера сгорания,
ТН – топливный насос.

На рис. 1.2 показана схема простой ГТУ, реализующей цикл Брайтона с подводом тепла при постоянном давлении.

Принципиальная схема данной установки представлена на рис. 1.3.

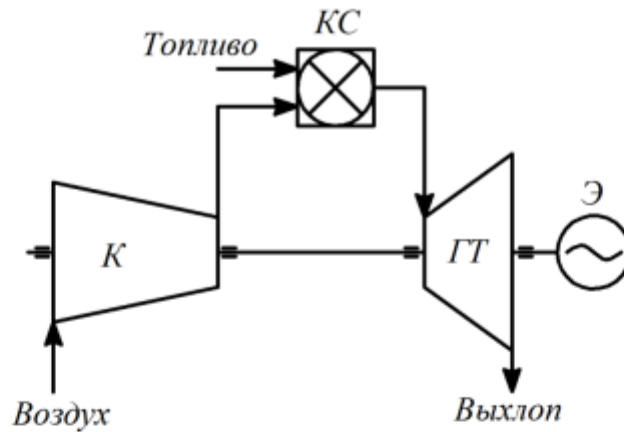


Рис. 1.3. Принципиальная схема простой ГТУ непрерывного горения, реализующей цикл Брайтона $p=const$:

Э – электрогенератор

Такие установки часто называют установками непрерывного горения. В данной установке рабочее тело (воздух) закачивается при давлении p_1 из атмосферы компрессором К, сжимается за счет подведенной работы L_K до давления p_2 и направляется в камеру сгорания КС. В камеру сгорания подается топливо (жидкое топливо подается топливным насосом (ТН), газообразное топливо от газового компрессора), которое сгорает при постоянном давлении, обеспечивая подвод тепла Q_1 . Благодаря сгоранию топлива температура рабочего тела увеличивается от T_2 до T_3 (см. рис. 1.1). Далее рабочее тело (теперь это уже газ, представляющей собой смесь воздуха и продуктов сгорания) поступает в газовую турбину (ГТ), где, расширяясь до атмосферного давления, совершает работу L_T . После турбины газы сбрасываются в атмосферу, через которую рабочий цикл и замыкается. Разность работы турбины и компрессора воспринимается электрогенератором (Э), который согласно приведенной на рис. 1.3 схеме расположен на общем валу с турбиной и компрессором.

Схема простой ГТУ для реализации цикла Брайтона $v=const$ показана на рис. 1.4.

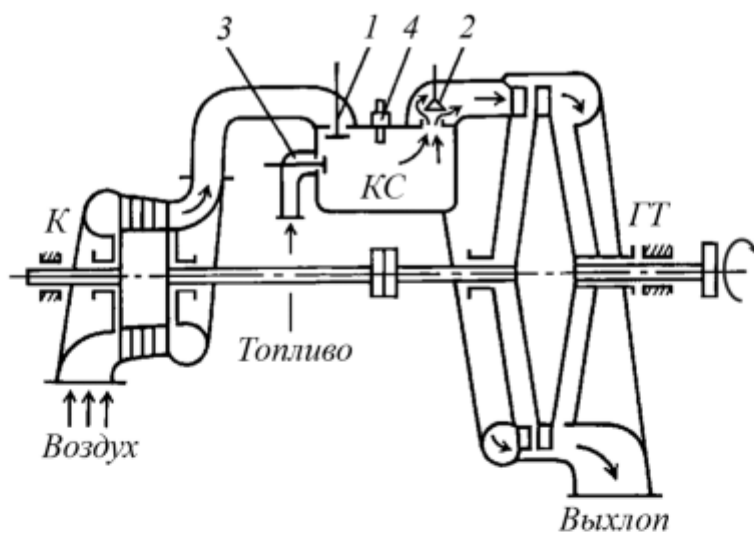


Рис. 1.4. Схема простой ГТУ прерывистого горения, реализующей цикл Брайтона $v=\text{const}$:

К – компрессор, ГТ – газовая турбина, КС – камера сгорания, 1 – топливный клапан,
2 – воздушный клапан, 3 – запальное устройство,
4 – газовый клапан

Принципиальная схема данной установки представлена на рис. 1.5.

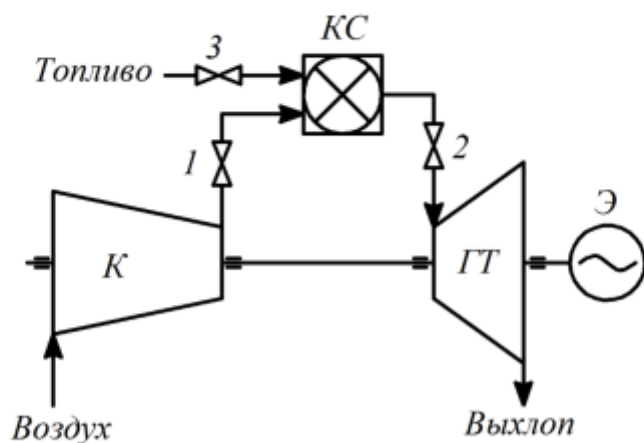


Рис. 1.5. Принципиальная схема простой ГТУ прерывистого горения, реализующей цикл Брайтона $v=\text{const}$:

Э – электрогенератор, 1, 2 и 3 – клапаны

В отличие от предыдущей схемы здесь появляются три клапана *1*, *2* и *3*. Компрессор нагнетает воздух в камеру сгорания через клапан *1* при закрытых клапанах *2* и *3*. Когда давление в КС подымается до p_2 , клапан *1* закрывают. При закрытых клапанах *1* и *2* открывается клапан *3* и КС заполняют топливом. После заполнения камеры воздухом и топливом все клапаны закрываются и при помощи запального устройства смесь воспламеняется. Сгорание происходит при постоянном объеме. В результате (рис. 1.1) температура и давление рабочего тела возрастают. При достижении максимального давления открывают клапан *2* и рабочее тело поступает в газовую турбину *ГТ*. При этом давление перед турбиной будет постепенно снижаться. Когда оно приблизится к атмосферному, клапан *2* следует закрыть, а клапан *1* открыть и повторить последовательность действий. Такие установки называют установками прерывистого горения.

Если сравнивать оба рассмотренные способа реализации цикла Брайтона с чисто термодинамических позиций, то предпочтителен последний вариант. Однако, если обратиться к возможностям технической реализации, то последний вариант серьезно проигрывает. Дело не столько в необходимости постоянно манипулировать клапанами *1*, *2* и *3*, эту обязанность можно возложить на автоматику. Значительно важнее то обстоятельство, что осевые турбомашины могут эффективно работать только в достаточно узком диапазоне начальных и конечных давлений. Поэтому при реализации цикла $v=\text{const}$ возникает целый ряд технических проблем, которые пока не удается радикально решить. Данный цикл находит применение только в ряде специфических условий (например, в ракетных двигателях).

Все рассмотренные выше установки работают по так называемой разомкнутой схеме, предполагающей, что воздух забирается из атмосферы, туда же сбрасываются отработавшие в турбине газы.

Возможен иной способ реализации цикла Брайтона, показанный на рис. 1.6.

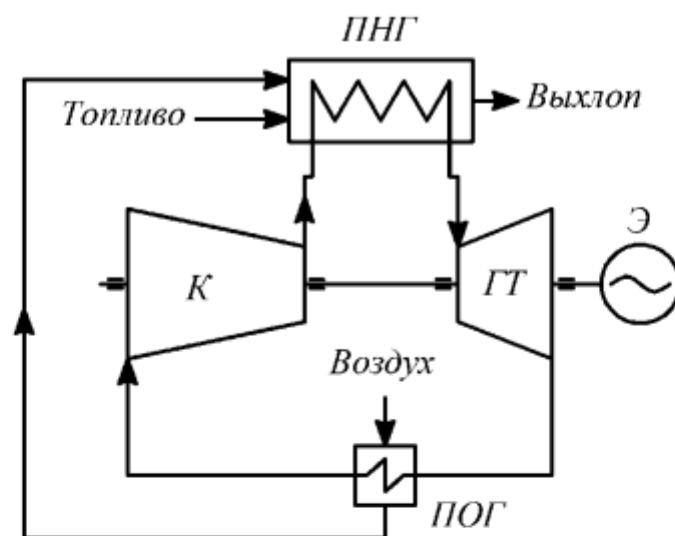


Рис. 1.6. Принципиальная схема замкнутой ГТУ:

К – компрессор, ГТ – газовая турбина, ПНГ – поверхностный нагреватель газа, ПОГ – поверхностный охладитель газа, Э – электрогенератор.

Эта схема отличается замкнутым контуром циркуляции теплоносителя, соответственно подобные установки называют замкнутыми ГТУ. При таком способе работы применение камеры сгорания исключается, поскольку запас кислорода в контуре очень быстро исчерпается, и далее сгорание топлива будет просто невозможно. Поэтому тепловую энергию подводят в конвективном теплообменнике.

Так в схеме появляется поверхностный нагреватель газа (ПНГ). В ПНГ сжигается топливо и подводится воздух, необходимый для сгорания топлива. При замкнутом контуре циркуляции рабочего тела необходимо организовать отвод теплоты в процессе 41 . Одним из логичных путей является использование теплоты процесса 41 для подогрева воздуха, подаваемого в топку, что позволяет снизить расход

топлива. Именно такой путь выбран в установке, схема которой показана на рис. 1.6. В результате в схеме появляется еще один теплообменник – поверхностный охладитель газа (ПОГ), в котором нагревается воздух, поступающий в ПНГ, и охлаждается рабочее тело перед компрессором.

Замкнутый контур циркуляции дает возможность использовать любой газ в качестве рабочего тела для получения определенных преимуществ. Кроме того, при замкнутой схеме циркуляции нет оснований считать, что давление p_2 соответствует атмосферному, оно может принимать любое удобное нам значение.