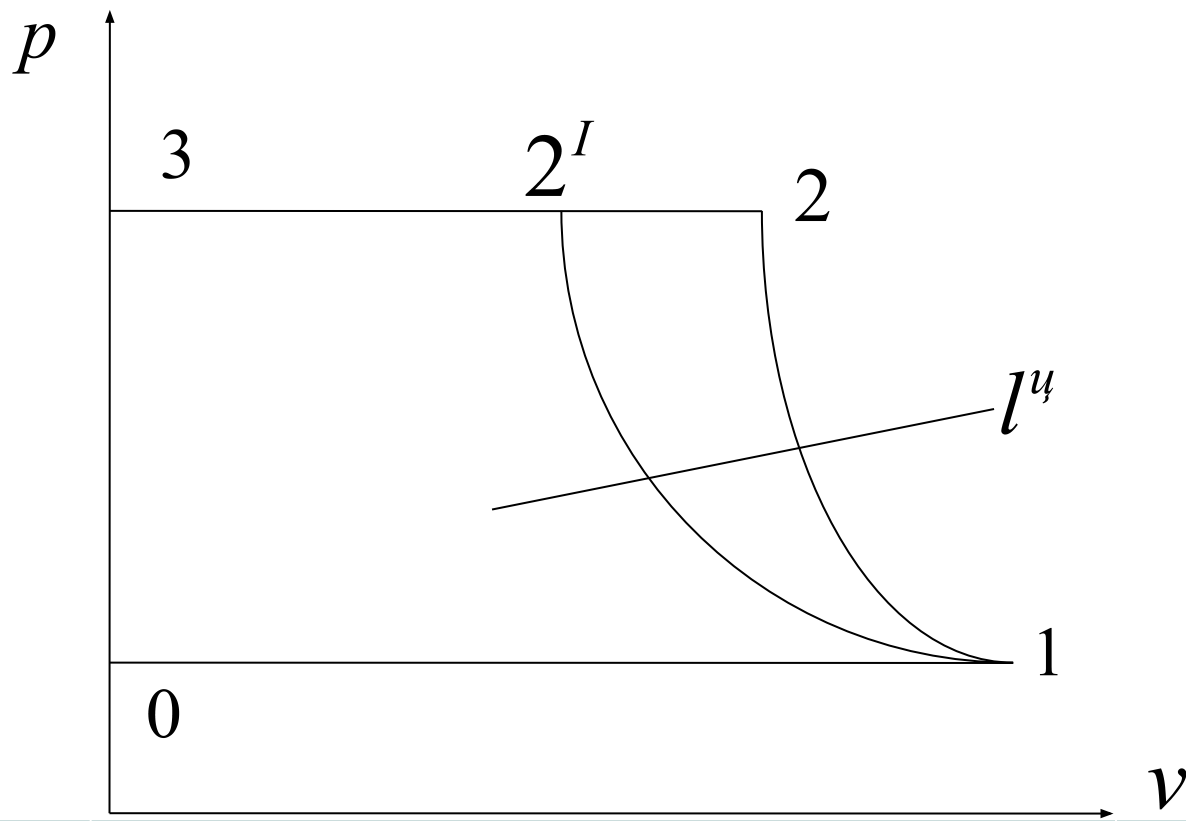


Математические модели процессов
теплообмена. **Кандидатский
экзамен**

ЦИКЛЫ

Теоретические циклы компрессионных установок

Цикл одноступенчатого поршневого компрессора



Теоретические циклы компрессионных установок

0 - открыт впускной клапан

0-1 – наполнение цилиндра воздухом

1 – впускной клапан закрывается

1-2 – сжатие воздуха в адиабатном режиме

2 – открывается выпускной клапан

2-3 – удаление воздуха из цилиндра

3 – закрывается выпускной клапан и
открывается впускной

3-0 – снижение давления воздуха в цилиндре
до уровня атмосферного

Теоретические циклы компрессионных установок

2' – предельно возможное положение точки 2

1-2' – изотермический процесс сжатия

Уравнение 1-го закона термодинамики для процесса

1-2:

$$q_{1-2} = \Delta u_{1-2} + l_{1-2}$$

В связи с быстротечностью процесса:

$$q_{1-2} \ll l_{1-2}$$

Тогда

$$q_{1-2} \ll \Delta u_{1-2}$$

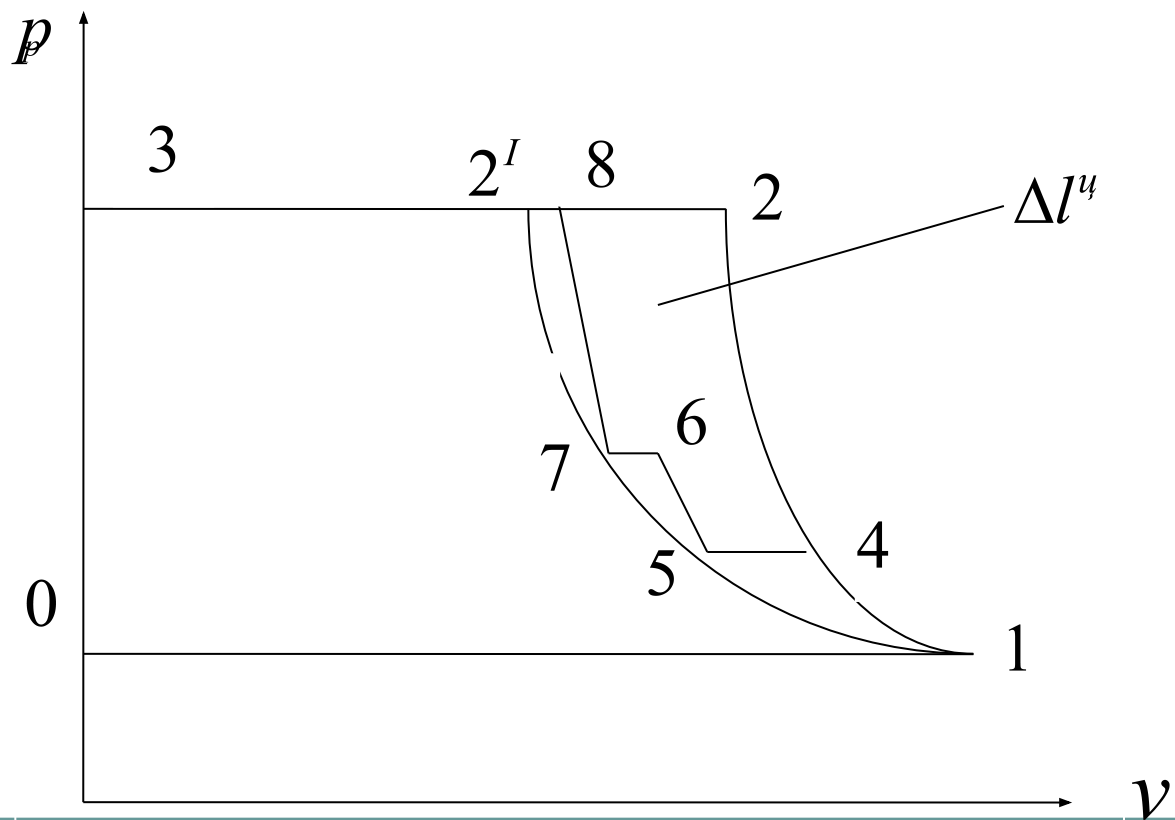
$$\Delta u_{1-2} = -l_{1-2}$$

Теоретические циклы компрессионных установок

В адиабатном режиме вся работа, затраченная на сжатие, идет на увеличение внутренней энергии. Наименьшие затраты работы на сжатие обеспечивает изотермический процесс. Однако, изотермический процесс сжатия можно реализовать лишь при очень медленном движении поршня и интенсивном охлаждении стенок цилиндра, что экономически не целесообразно.

Теоретические циклы компрессионных установок

Цикл трехступенчатого поршневого компрессора



Теоретические циклы компрессионных установок

0-1-2-3-0 – цикл эквивалентного одноступенчатого компрессора при адиабатном режиме сжатия;

0-1-2-3-0 – цикл эквивалентного одноступенчатого компрессора при изотермическом режиме сжатия

1-4 – сжатие воздуха в адиабатном режиме в 1-ой ступени компрессора;

4-5 – охлаждение воздуха в холодильнике в изобарном режиме до исходной температуры после ступени 1-ой ступени компрессора;

5-6 – сжатие воздуха в адиабатном режиме 2-ой ступени компрессора;

6-7 – охлаждение воздуха в холодильнике в изобарном режиме до исходной температуры после второй ступени;

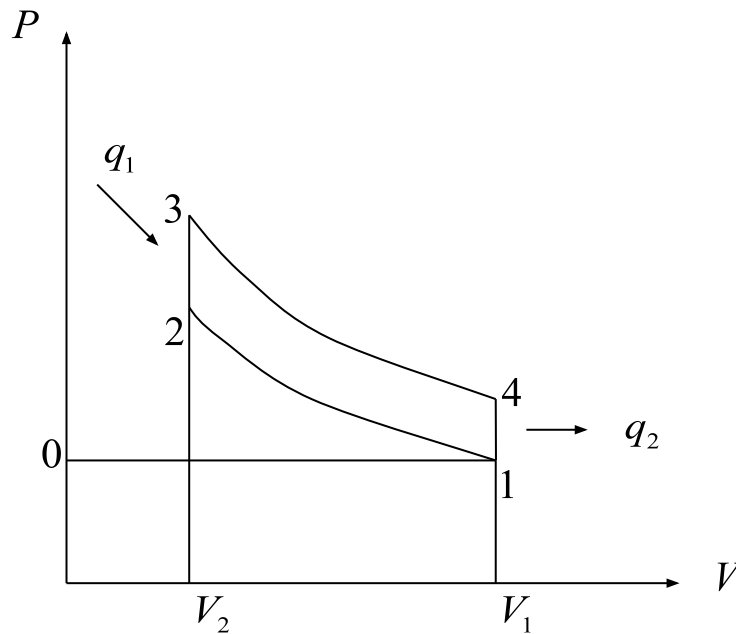
7-8 – сжатие воздуха в адиабатном режиме 3-ей ступени компрессора.

Теоретические циклы компрессионных установок

Многоступенчатые компрессоры дают экономию работы, затраченной на сжатие воздуха. Однако, из-за сложности конструкции многоступенчатые компрессоры на практике применяют лишь в том случае, когда одноступенчатые компрессоры использовать невозможно

Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме. (Цикл Отто)



Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

- В т. 0 происходит открывание впускного клапана;
- 0-1- наполнение цилиндра горючей смесью;
- т.1- впускной клапан закрывается;
- 1-2- сжатие горючей смеси в адиабатном режиме;
- т.2- топливо воспламеняется от электрической искры;
- 2-3- горение топлива в изохорном режиме;
- 3-4- расширение продукта сгорания в адиабатном режиме;
- т.4- открывается выпускной клапан;
- 4-1- падение давления в цилиндре до атмосферно, при этом продукты сгорания частично удаляются в атмосферу.
- 1-0- полное удаление продуктов сгорания в атмосферу
- т.0- выпускной клапан закрывается и открывается впускной.

Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Закон термодинамики для процесса 1-2:

$$q_{1-2} = \Delta u_{1-2} + l_{1-2}$$

Из-за быстротечности процесса: $\Delta u_{1-2} \ll q_{1-2} \ll l_{1-2}$, т.е. вся работа затрачивается на сжатие горючей смеси идет на увеличение внутренней энергии рабочего тела, тогда уравнение примет вид:

$$\Delta u_{1-2} = -l_{1-2}$$

Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Закон термодинамики для участка 3-4:

$$q_{3-4} = \Delta u_{3-4} + l_{3-4}$$

Из-за быстротечности процесса: $\Delta u_{3-4} \gg q_{3-4} \ll l_{3-4}$.

Тогда:

$$l_{3-4} = \Delta u_{3-4}$$

Процесс считаем адиабатным, работа совершается рабочим телом за счет уменьшения его внутренней энергии.

Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Закон термодинамики для участка 2-3:

$$q_{2-3} = \Delta u_{2-3} + l_{2-3}$$

q_{2-3} – теплота, подведенная к телу за счет сгорания топлива.

Из-за быстротечности горения топлива: $l_{2-3} = \int_{v_2}^{v_3} p dv$

$v_2 \approx v_3$ - перемещение поршня за это время не значительно. Тогда:

$$q_{2-3} = \Delta u_{2-3}$$

Вся теплота, выделившаяся при горении топлива, идет на увеличение его внутренней энергии.

Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Горючая смесь готовится в карбюраторе при невысокой температуре воздуха, в качестве топлива используется бензин.

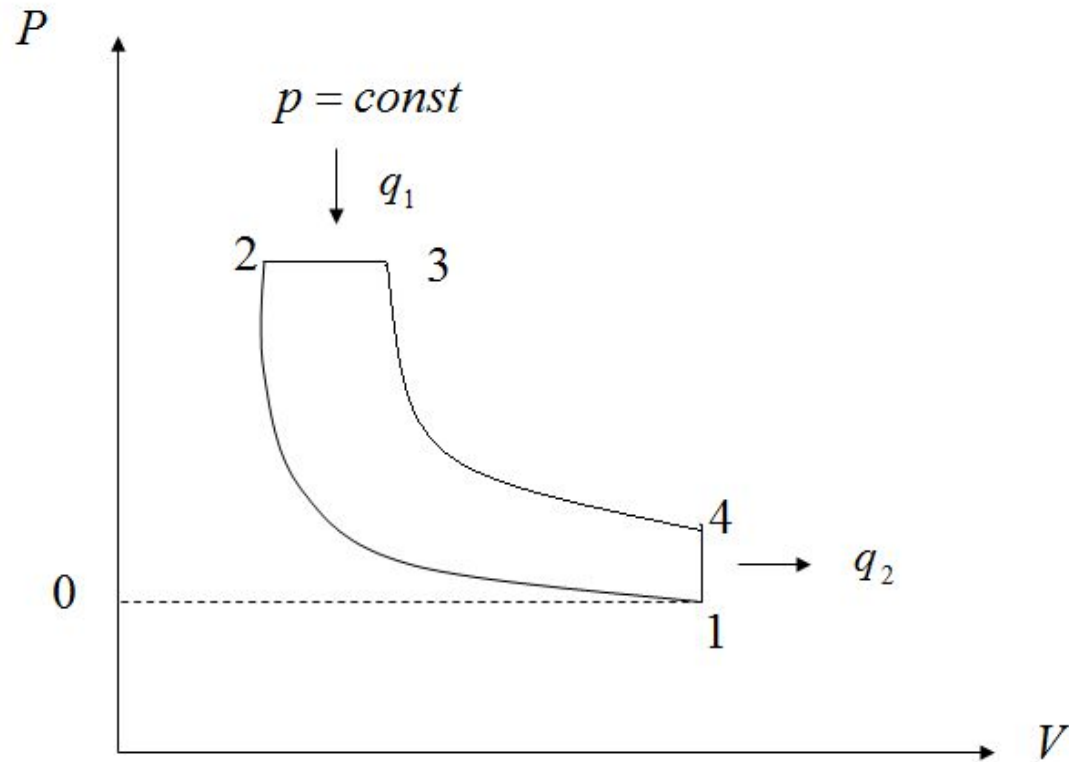
$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} - \text{ - степень сжатия.}$$

С увеличением степени сжатия возрастает КПД двигателя.

Однако, с увеличением степени сжатия, температура горючей смеси может достигнуть температуры самовоспламенения топлива без электрической искры.

Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Цикл с подводом
теплоты при
постоянном
Давлении
(цикл Дизеля).



Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

В т.0- открыт впускной клапан;

0-1- наполнение цилиндра воздухом;

1-2- сжатие воздуха в цилиндре в адиабатном режиме;

т.2- в цилиндр подается топливо, которое самовоспламеняется из-за высокой температуры воздуха. Топливо подают таким образом, чтобы горение протекало в изобарном режиме по линии 2-3;

3-4- расширение продукта сгорания в адиабатном режиме:

т.4- открывается выпускной клапан;

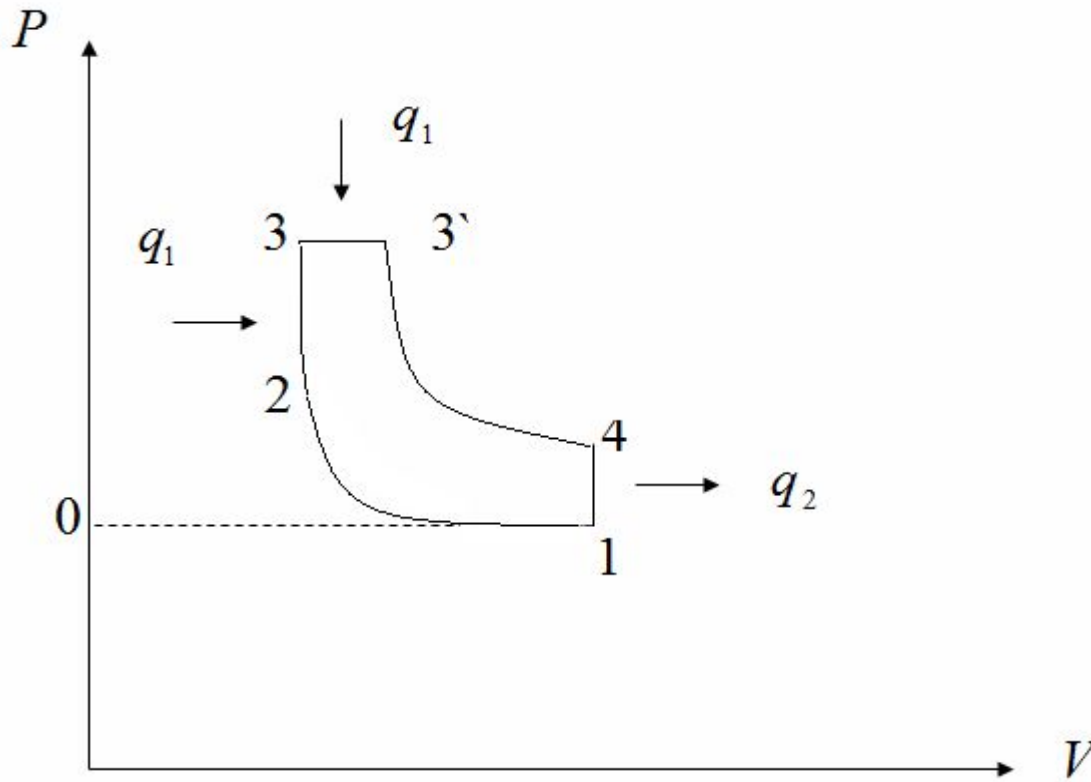
4-1- падение давления в цилиндре до атмосферного с частичным удалением продуктов сгорания в атмосферу;

1-0- полное удаление продукта сгорания в атмосферу;

т.0- выпускной клапан закрывается и открывается впускной.

Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Цикл смешанный (цикл Тринклера)

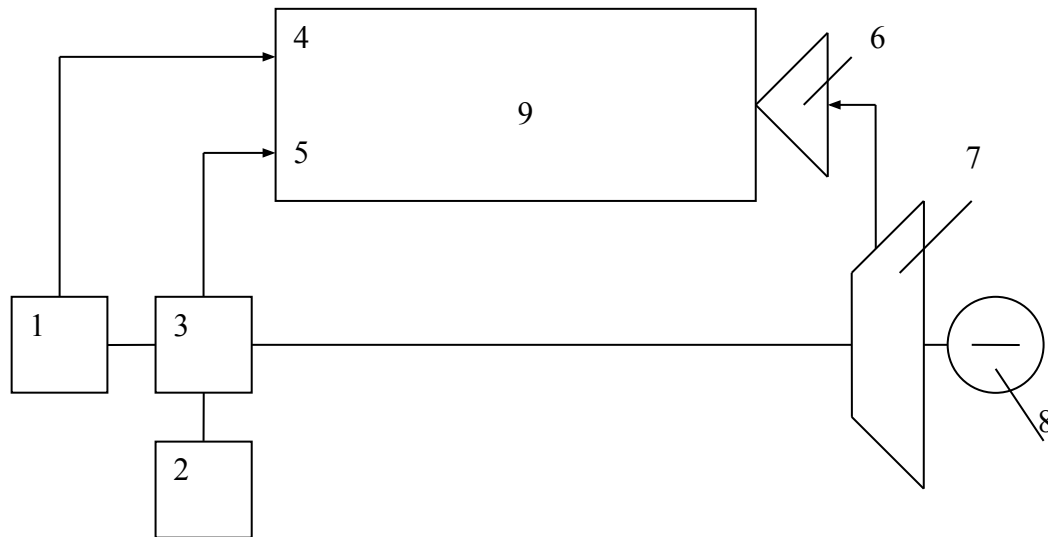


Теоретические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

- В т.0-открывается впускной клапан;
- 0-1- наполнение цилиндра воздухом;
- 1-2- сжатие воздуха в цилиндре;
- т.2- в цилиндр подается топливо, которое самовоспламеняется из-за высокой температуры воздуха. Топливо подают так, чтобы горение протекало в изохорном режиме (2-3), а затем в изобарном (3-3`);
- 3-4- расширение продукта сгорания в адиабатном режиме;
- т.4- открывается выпускной клапан;
- 4-1- падение давления в цилиндре до атмосферного с частичным удалением продуктов сгорания в атмосферу;
- 1-0- полное удаление продукта сгорания в атмосферу;
- т.0- выпускной клапан закрывается и открывается впускной.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Установка, работающая с подводом теплоты при постоянном давлении



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

- 1 - турбокомпрессор;
- 2 - топливный бак;
- 3 - топливный насос;
- 4 – воздушная форсунка;
- 5 - топливная форсунка;
- 6 - сопло;
- 7- турбина;
- 8 - электрогенератор;
- 9 - камера сгорания топлива.

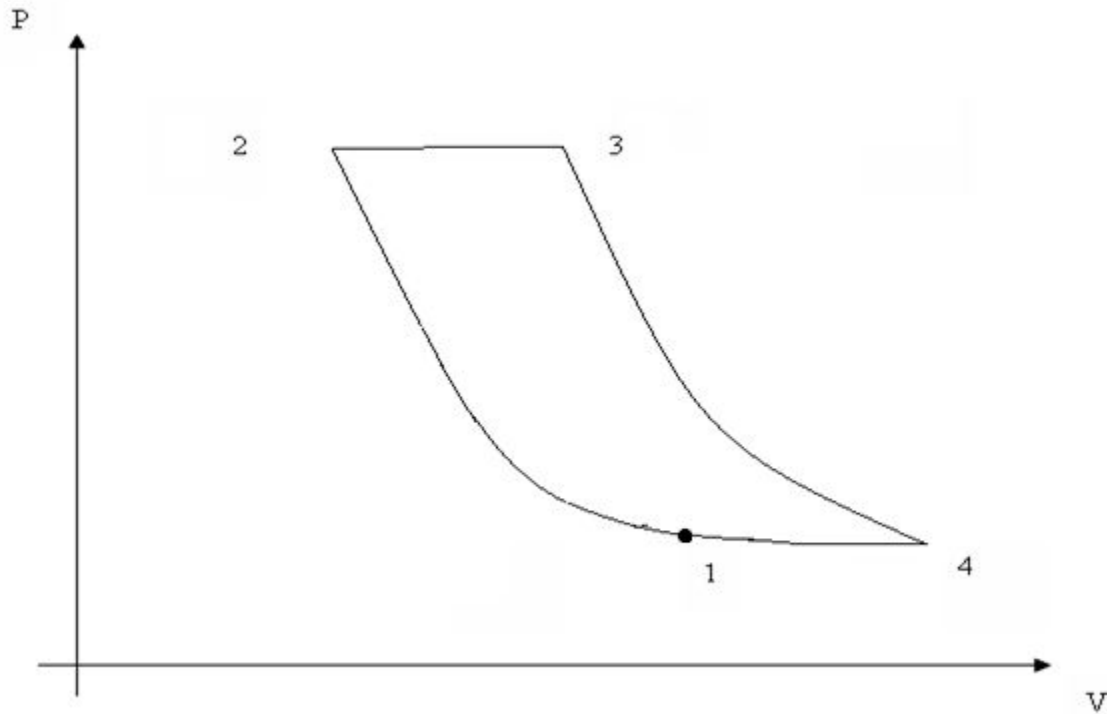
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Работа установки.

Турбокомпрессором 1, через форсунку 4, в камеру 9 подается воздух. Сюда же из бака 2, насосом 3, через форсунку 5 подается топливо. В камере 9 топливо непрерывно смешивается с воздухом и непрерывно горит. Образующиеся продукты сгорания, непрерывно удаляются через сопло 6, и направляются на лопатки турбины 7, приводя ее во вращение. Турбокомпрессор 1, насос 3, турбина 7, электрогенератор 8 кинематически связаны между собой.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Диаграмма

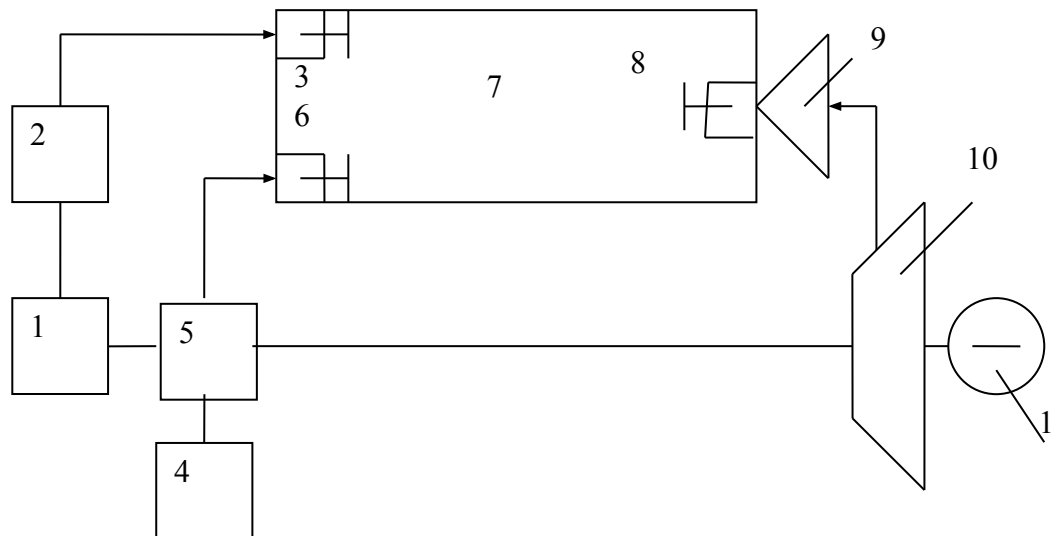


ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

- 1-2 сжатие воздуха в турбокомпрессоре,
- 2-3 горение топлива в камере сгорания,
- 3-4 расширение продуктов сгорания в адиабатном режиме, при прохождении через сопло и лопатки турбины.
- 4-1 рассеивание продуктов сгорания в атмосфере.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

**Газотурбинная установка работающая, с
подводом теплоты, при постоянном объеме.**



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

- 1-турбокомпрессор;
- 2-рессивер (служит для сглаживания пульсаций
рассеивания и расхода);
- 3-воздушный клапан;
- 4-топливный бак;
- 5-топливный насос;
- 6-топливный клапан;
- 7-камера сгорания;
- 8-сопловой клапан;
- 9-сопло;
- 10-турбина;
- 11-электрогенератор;

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

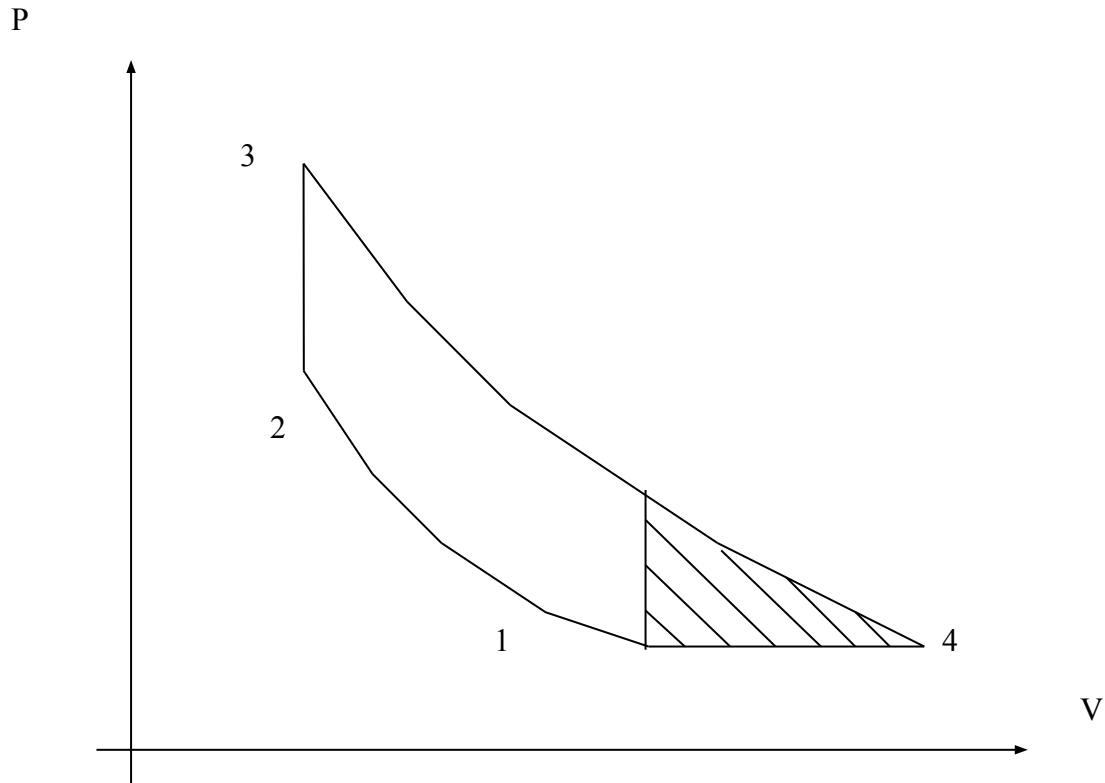
Работа установки

При закрытом клапане 8 и открытых клапанах 3,6, в камеру 7 подают топливо и воздух. После того, как давление образующейся горючей смеси достигнет достаточной величины, клапан 3 и 6 закрывают, а топливо воспламеняют от электрической искры.

Горение протекает в изохорном режиме, после полного сгорания топлива клапан 8, открывают. Образовавшийся продукт сгорания через сопло 9, направляется на лопатки турбины 10, приводя ее во вращение. После удаления продуктов сгорания клапан 3,6 открываются, а клапан 8 закрывается.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Диаграмма



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

- 1-2 сжатие воздуха в турбокомпрессоре в адиабатном режиме,
- 2-3 горение топлива в камере сгорания в изохорном режиме,
- 3-4 расширение продуктов сгорания в адиабатном режиме, при прохождении через сопло и лопатки турбины,
- 4-1 рассеивание продуктов сгорания в атмосфере.

Реальный КПД газотурбинной установки возрастает с увеличением единичной мощности. По этому газотурбинные двигатели применяют в скоростной авиации, на крупных судах и т.д.

Вопросы к зачету

1. Циклы поршневых одно - многоступенчатых компрессоров.
2. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания (Отто, Дизеля, Тринклера).
3. Циклы газотурбинных установок .