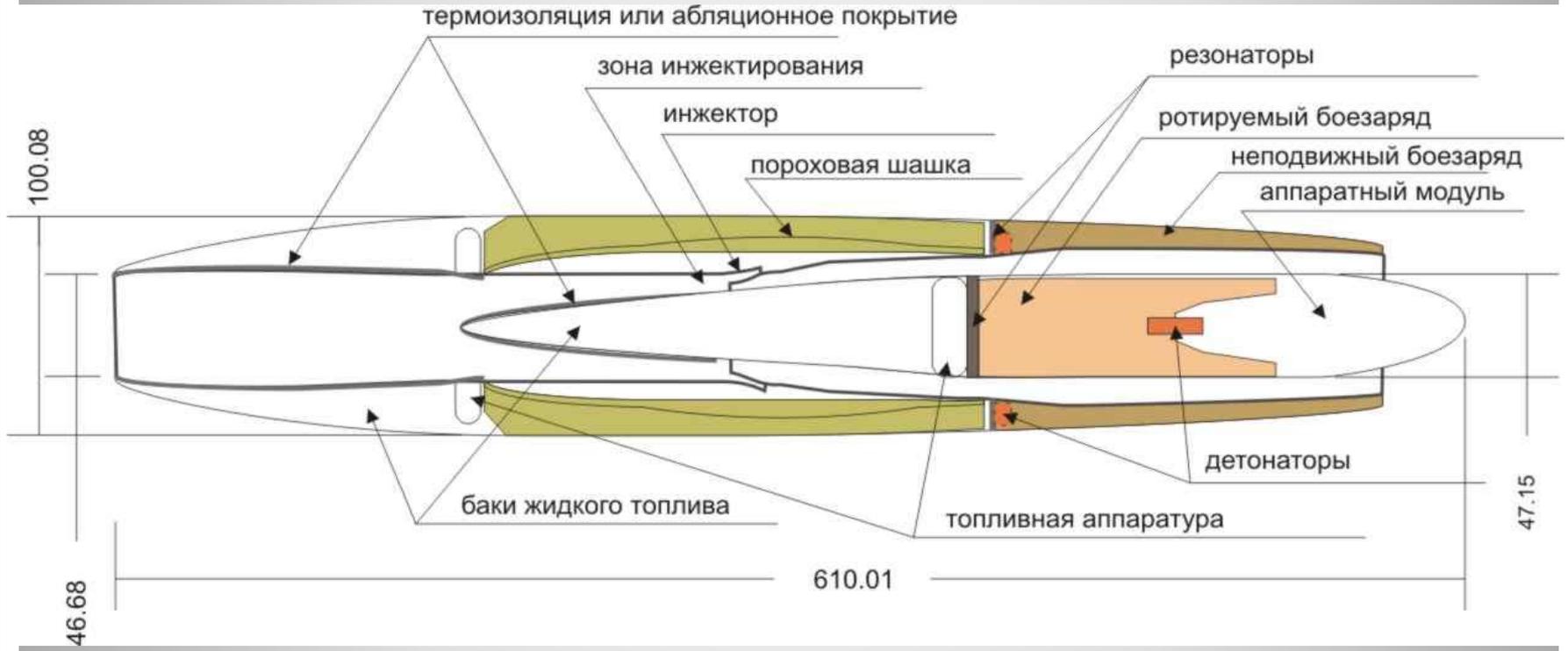


**Тепловой двигатель.
Виды тепловых
двигателей. Циклы
тепловых двигателей с
внешним и внутренним
сгоранием**

- **Теплово́й дви́гатель** — устройство, совершающее работу за счет использования внутренней энергии, тепловая машина, превращающая тепло в механическую энергию, использует зависимость теплового расширения вещества от температуры. (Возможно использование изменения не только объёма, но и формы рабочего тела, как это делается в твёрдотельных двигателях, где в качестве рабочего тела используется вещество в твёрдой фазе.) Действие теплового двигателя подчиняется законам термодинамики. Для работы необходимо создать разность давлений по обе стороны поршня двигателя или лопастей турбины. Для работы двигателя обязательно наличие топлива. Это возможно при нагревании рабочего тела (газа), которое совершает работу за счёт изменения своей внутренней энергии. Повышение и понижение температуры осуществляется, соответственно, нагревателем и охладителем.

- Первой известной тепловой машиной была паровая турбина внешнего сгорания, изобретённая во II веке н. э. в Римской империи. Это изобретение не получило своего развития предположительно из-за низкого уровня техники того времени. На прогресс это изобретение никакого влияния не оказало и было забыто. Следующей тепловой машиной, изобретённой человеком, была пороховая ракета и пороховое орудие. Дата его изобретения неизвестна, первое известное упоминание относится к 13 веку. Это произошло в Китае. Это было простое устройство, которое с точки зрения инженера и механика не является тепловым двигателем, так как не имеет вала отбора мощности, но с точки зрения физики является тепловой машиной. Поэтому этот прибор имеет ограниченное применение: для связи, в военном деле, как транспорт (в последнем случае есть проблемы, но в принципе это возможно). В 17 веке изобретательская мысль попыталась на базе порохового орудия создать тепловой двигатель.



- **Работа**, совершаемая двигателем, равна:

- $A = |Q_H| - |Q_X|$, где:

- Q_H — количество теплоты, полученное от нагревателя,

Q_X — количество теплоты, отданное охладителю.

- **Коэффициент полезного действия (КПД)** теплового двигателя рассчитывается как отношение работы, совершаемой двигателем, к количеству теплоты, полученному от нагревателя:

$$\eta = \frac{|Q_H| - |Q_X|}{|Q_H|} = 1 - \frac{|Q_X|}{|Q_H|}$$

- Часть теплоты при передаче неизбежно теряется, поэтому КПД двигателя менее 1. Максимально возможным КПД обладает двигатель Карно. КПД двигателя Карно зависит только от абсолютных температур нагревателя() и холодильника():

$$\eta_K = \frac{T_H - T_X}{T_H} = 1 - \frac{T_X}{T_H}$$

- **Типы тепловых двигателей**

- **Двигатель Стирлинга**

- Двигатель Стирлинга — тепловая машина, в которой жидкое или газообразное рабочее тело движется в замкнутом объёме, разновидность двигателя внешнего сгорания. Основан на периодическом нагреве и охлаждении рабочего тела с извлечением энергии из возникающего при этом изменения объёма рабочего тела. Может работать не только от сжигания топлива, но и от создания разницы температур его цилиндров.

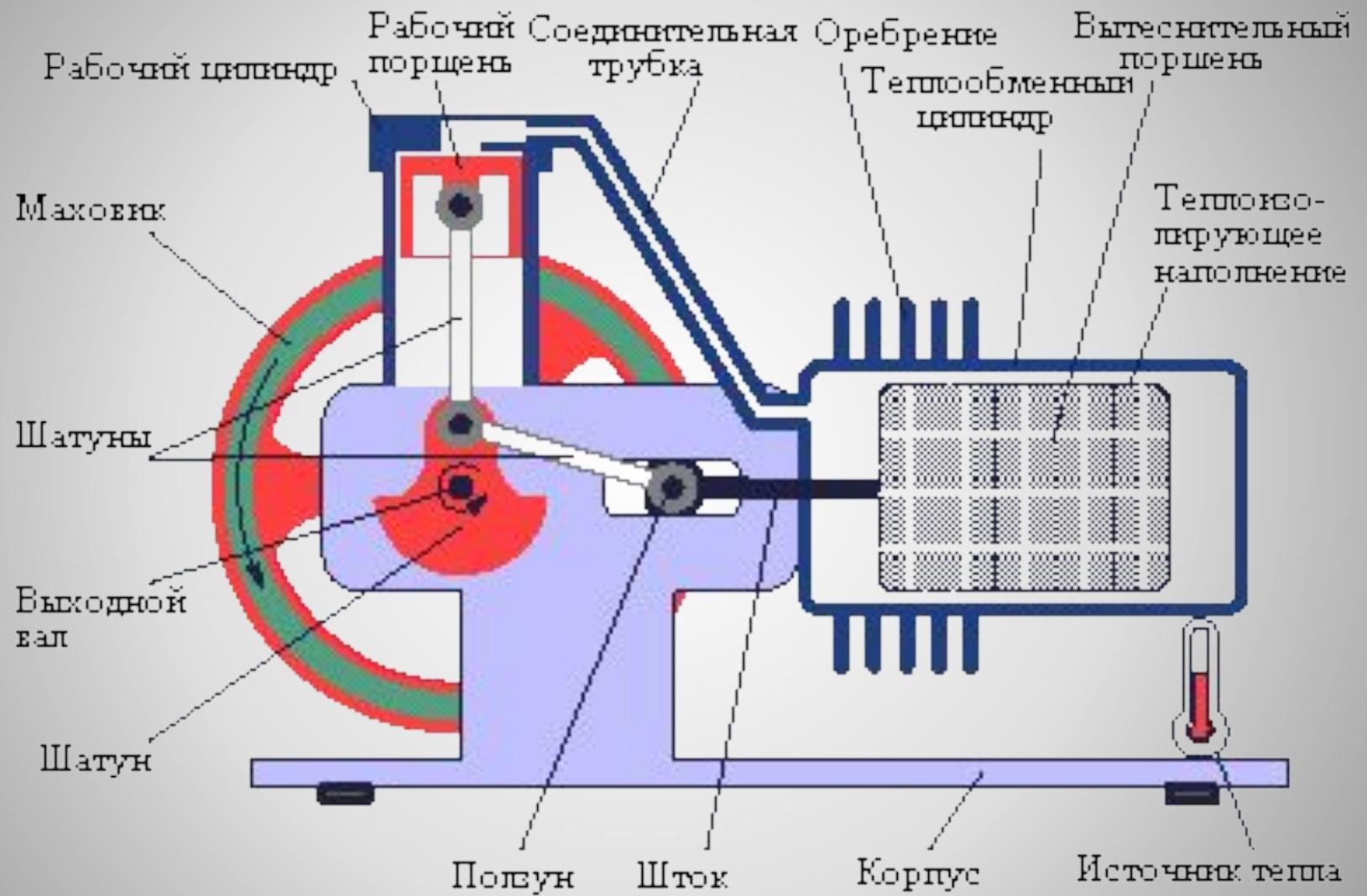
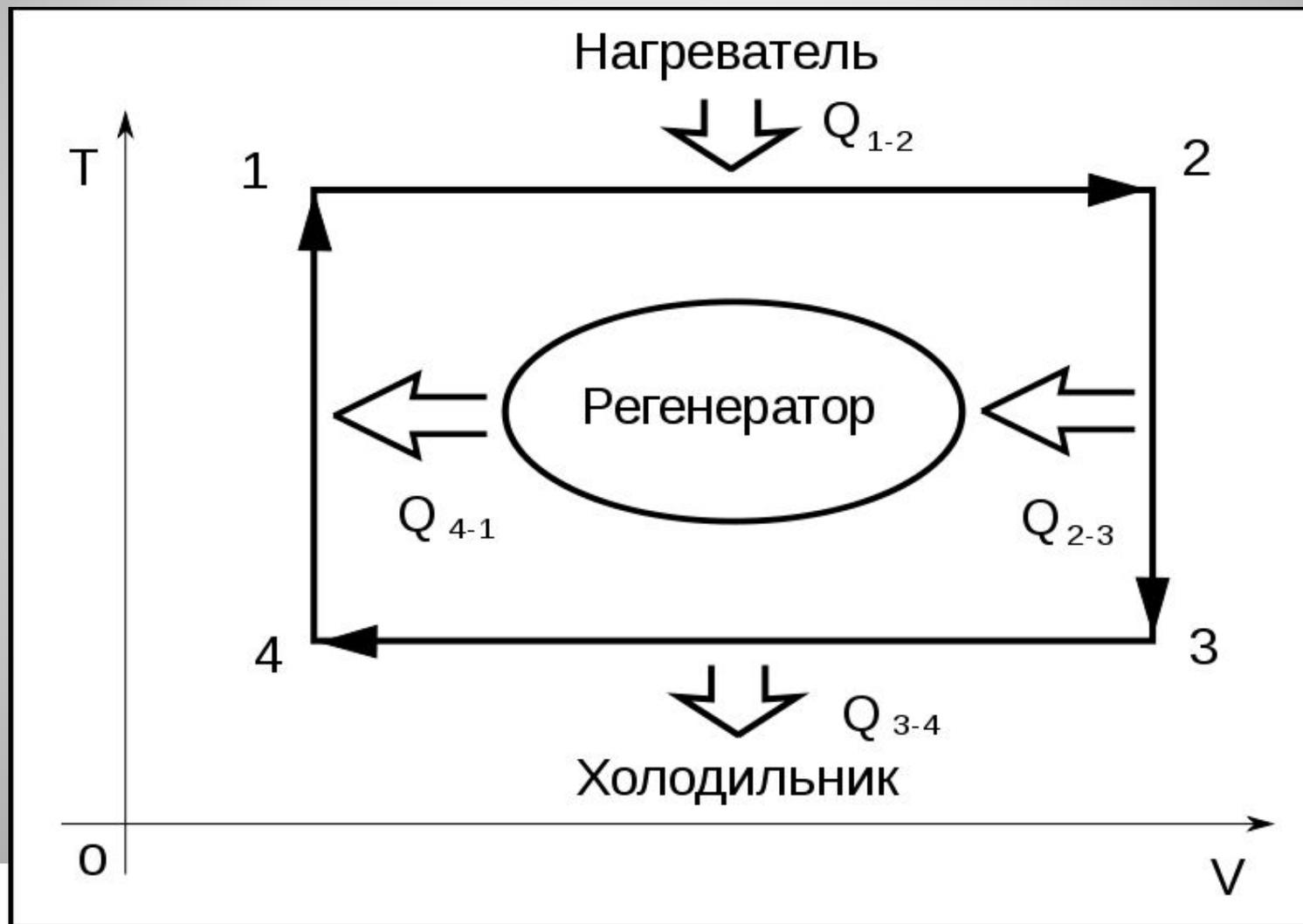


Схема двигателя Стирлинга

● Цикл Стирлинга



- Помимо рабочего тела, нагревателя и холодильника абстрактная машина Стирлинга содержит ещё *регенератор* — устройство, отводящее тепло от рабочего тела на некоторых этапах цикла, и отдающее это тепло рабочему телу на других этапах. Идеальный цикл Стирлинга состоит из процессов:
 - 1—2 изотермическое расширение рабочего тела с подводом тепла от нагревателя;
 - 2—3 изохорный отвод тепла от рабочего тела к регенератору;
 - 3—4 изотермическое сжатие рабочего тела с отводом тепла к холодильнику;
 - 4—1 изохорический нагрев рабочего тела с подводом тепла от регенератора.

- В расчёте на один моль рабочего тела тепло, подведённое за цикл от нагревателя (см. изотермический процесс) определяется выражением:

- $Q_{1-2} = RT_1 \ln(V_2/V_1)$ здесь R - универсальная газовая постоянная

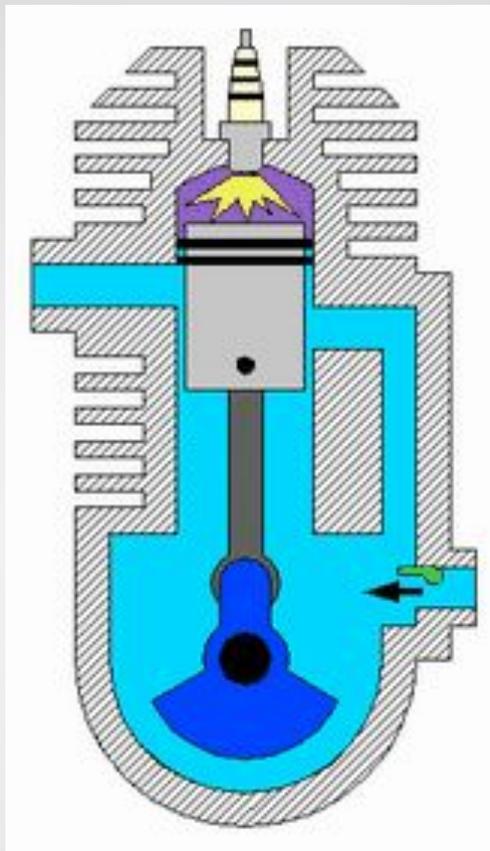
- Тепло, отведённое за цикл к холодильнику:

- Тепло, отдаваемое в процессе 2—3 регенератору и возвращаемое от него в процессе 4—1 равно:

- (здесь $Q_{2-3} = Q_{4-1} = C_V (T_1 - T_4)$ — моль идеального газа при постоянном объёме) Это тепло сохраняется в системе, являясь частью её внутренней энергии, которая за цикл не изменяется.)

- Регенератор, таким образом, позволяет экономить тепло, расходуемое нагревателем за счёт уменьшения тепла, отводимого к холодильнику, и, тем самым, повысить термодинамическую эффективность двигателя Стирлинга.
- Термический коэффициент полезного действия идеального цикла Стирлинга равен:
$$\eta = \frac{Q_{1-2} - Q_{3-4}}{Q_{1-2}} = \frac{T_1 - T_4}{T_1}.$$
- Таким же выражением определяется термический КПД цикла Карно.

- **Поршневой двигатель внутреннего сгорания**
- Двигатель Внутреннего Сгорания или ДВС, тепловой двигатель, в котором часть химической энергии топлива, сгорающего в рабочей полости, преобразуется в механическую энергию. По роду топлива различают жидкостные и газовые; по рабочему циклу непрерывного действия, 2-х и 4-тактные; по способу приготовления горючей смеси с внешним (напр., карбюраторные) и внутренним (напр., дизели) смесеобразованием; по виду преобразователя энергии поршневые, турбинные, реактивные и комбинированные. Коэффициент полезного действия 0,4-0,5. Первый двигатель внутреннего сгорания сконструирован Э. Ленуаром в 1860.
- В наше время чаще встречается автомобильный транспорт, который работает на тепловом двигателе внутреннего сгорания, работающем на жидком топливе. Рабочий цикл в двигателе происходит либо за четыре хода поршня, за четыре такта, либо за два и двигатели делятся на четырёхтактные и двухтактные. Цикл четырёхтактного двигателя состоит из следующих тактов: 1.впуск, 2.сжатие, 3.рабочий ход, 4.выпуск. В цикле двухтактного двигателя такты рабочего хода и сжатия аналогичны четырёхтактному двигателю, а впуск и выпуск осуществляется одновременно в момент нахождения поршня вблизи от нижней мёртвой точки

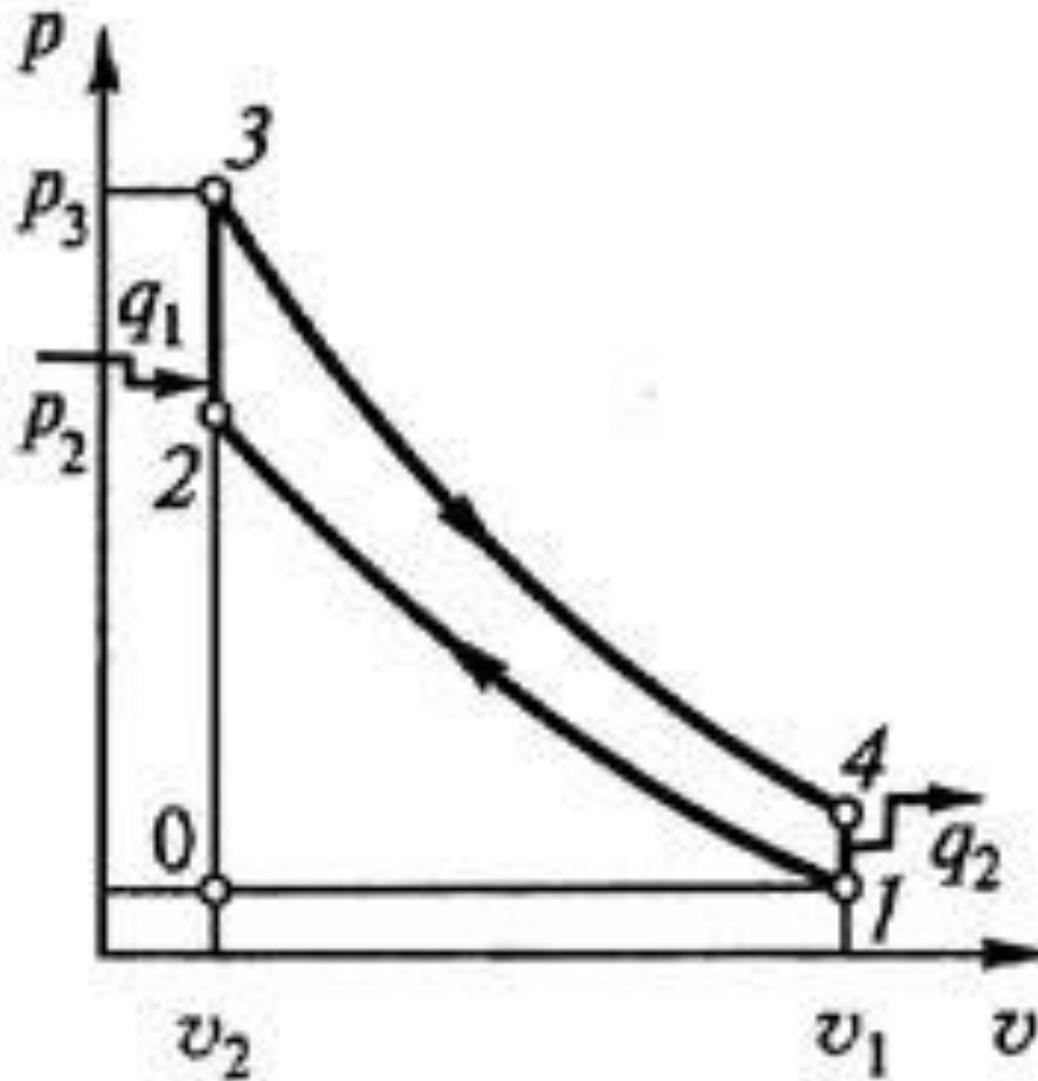


Двухтактный цикл.

Такты:

1. При движении поршня вверх — сжатие топливной смеси в текущем цикле и всасывание смеси для следующего цикла в полость под поршнем
2. При движении поршня вниз — рабочий ход, выхлоп и вытеснение топливной смеси из-под поршня в рабочую полость цилиндра

- Теоретическим циклом двигателей быстрого сгорания является цикл с изохорным подводом теплоты, называемый циклом Отто. Процессы 0–1 и 1–0, т.е. всасывание и выпуск, не являются термодинамическими и потому не рассматриваются. Сжатие 1–2 и рабочий ход 3–4 считаются адиабатными процессами сжатия и расширения. Подвод теплоты q_1 осуществляется в изохорном процессе 2–3. Выхлоп 4–1 также считается изохорным процессом, в котором осуществляется отвод теплоты q_2 . Принимается, что рабочее тело представляет собой идеальный газ.



- **Роторный (турбинный) двигатель внешнего сгорания**
- Примером такого устройства является тепловая электрическая станция в базовом режиме. Таким образом колёса локомотива (электровоза) также, как и в 19 веке, вращает энергия пара. Но тут есть два существенных отличия. Первое отличие заключается в том, что паровоз 19 века работал на качественном дорогом топливе, например на антраците. Современные же паротурбинные установки работают на дешёвом топливе, например на Канско-Ачинском угле, который добывается открытым способом шагающими экскаваторами. Но в подобном топливе много пустого балласта, который транспорту приходится возить с собой вместо полезного груза. Электровозу не надо возить не только балласт, но и топливо вообще. Второе отличие заключается в том, что тепловая электрическая станция работает по циклу Ренкина, который близок к циклу Карно. Цикл Карно состоит из двух адиабат и двух изотерм. Цикл Ренкина состоит из двух адиабат, изотермы и изобары с регенерацией тепла, которая приближает этот цикл к идеальному циклу Карно. На транспорте трудно сделать такой идеальный цикл, так как у транспортного средства есть ограничения по массе и габаритам, которые практически отсутствуют у стационарной установки.

- **Роторный (турбинный) двигатель внутреннего сгорания**
- Примером такого устройства является тепловая электрическая станция в пиковом режиме. Порой в качестве газотурбинной установки используют списанные по технике безопасности воздушно-реактивные двигатели.

- **Реактивные и ракетные двигатели**

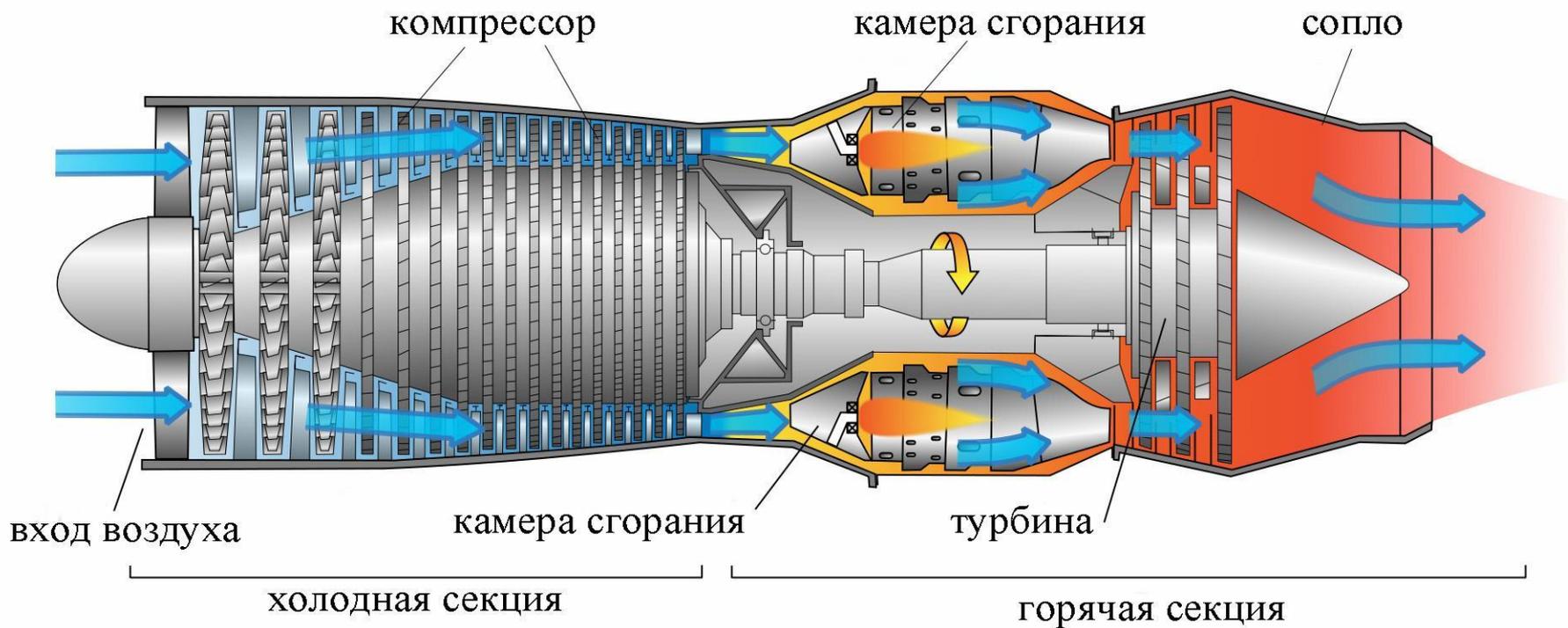
- Идея реактивного и ракетного двигателя состоит в том, чтобы тяга создавалась не винтом, а отдачей выхлопных газов двигателя.

- Все реактивные двигатели классифицируют на два основных типа:

- - 1) воздушно-реактивные (эксплуатируемых в атмосфере) - для сгорания топлива используется кислород из воздуха (ГТД);

- 2) реактивные двигатели (ракетные), в которых топливо и окислитель на летательном аппарате находятся одновременно.

Последние двигатели используются для полетов вне атмосферы. В свою очередь, реактивные ракетные двигатели, в зависимости от агрегатного состояния топлива, делятся на два основных типа: ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ) ракетные двигатели жидкого топлива (РДРП). Цикл реактивных двигателей подобный циклов ГТУ.



На рис.7.7 и рис7.8 представлены идеальный цикл ГТУ на PV и TS диаграммах.

1-2 - адиабатное сжатие до давления P_2 ;

2-3 - подвод теплоты q_1 при постоянном давлении P_2 (сгорание топлива);

3-4 - адиабатное расширение до первоначального давления P_1 ;

4-1 - охлаждение рабочего тела при постоянном давлении P_1 (отвод теплоты q_2);

Характеристиками цикла являются:

степень повышения давления - $\lambda = P_2 / P_1$;

степень изобарного расширения - $\tau = n_3 / n_2$

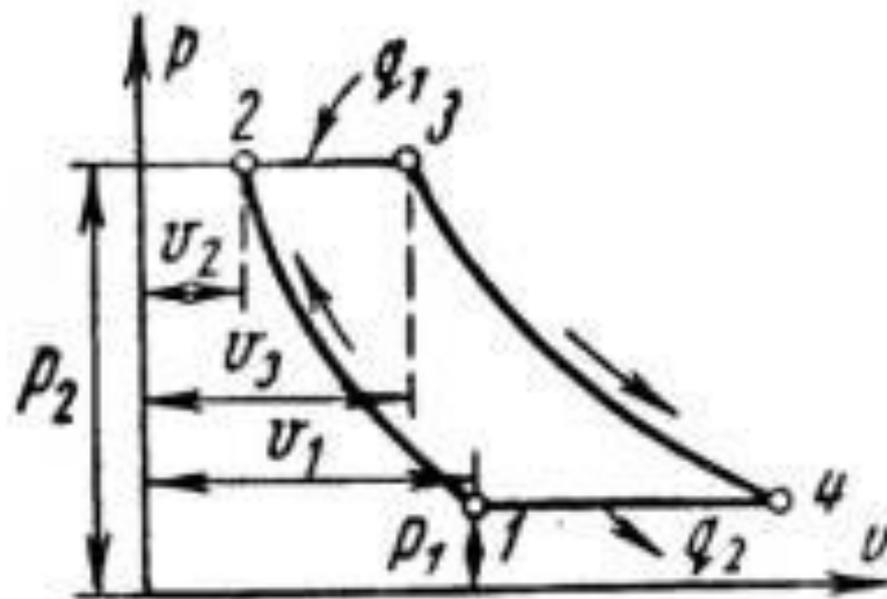


Рис. 7.7.

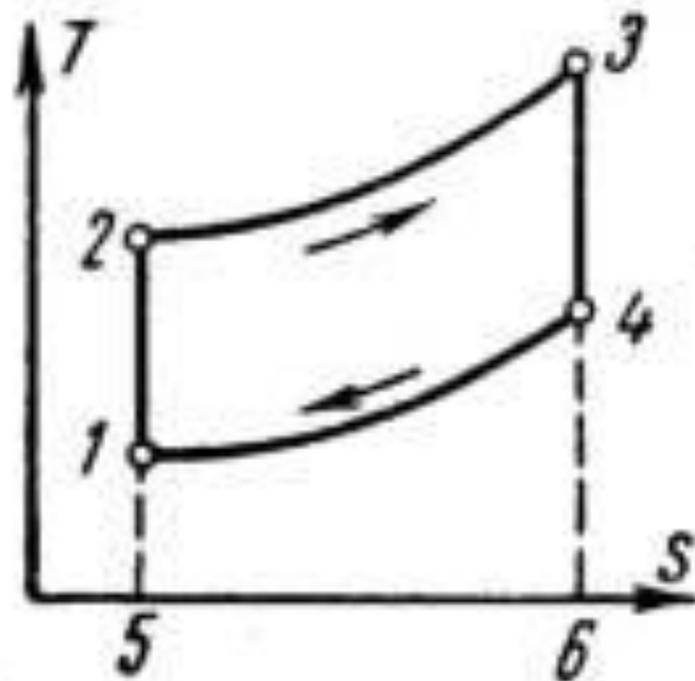
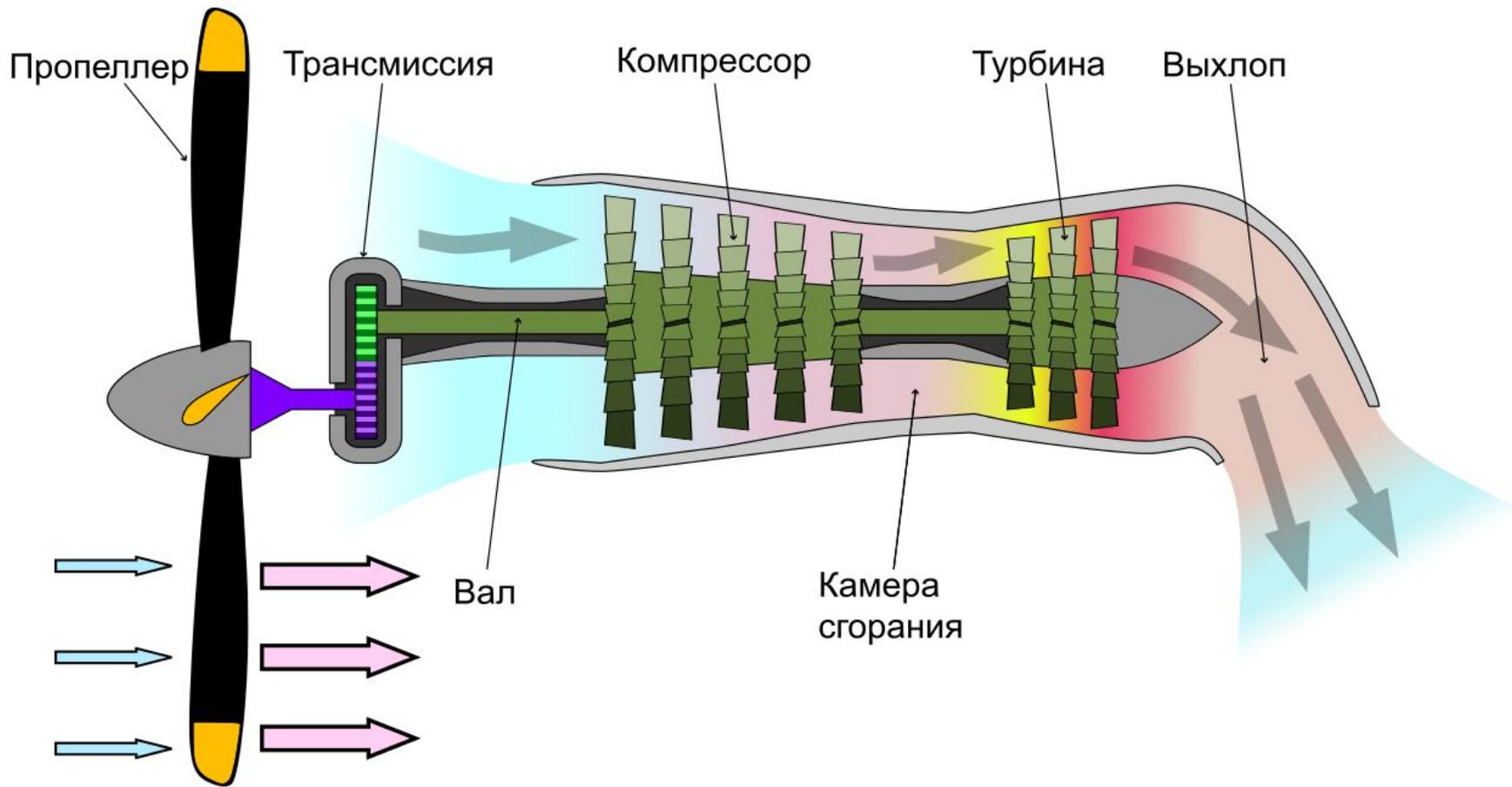


Рис. 7.8.

- **Турбовинтовой двигатель**

- Турбовинтовой двигатель часть тяги создаёт за счёт винта, другую часть за счёт отдачи выхлопных газов. По конструкции он представляет собой газовую турбину (роторный двигатель внутреннего сгорания), на вал которой насажен воздушный винт.



- **Турбореактивный двигатель**

- Турбореактивный двигатель создаёт тягу за счёт отдачи выхлопных газов. По конструкции он представляет собой газовую турбину (роторный двигатель внутреннего сгорания), на вал которой насажен компрессор, повышающий давление для эффективного сжигания топлива.

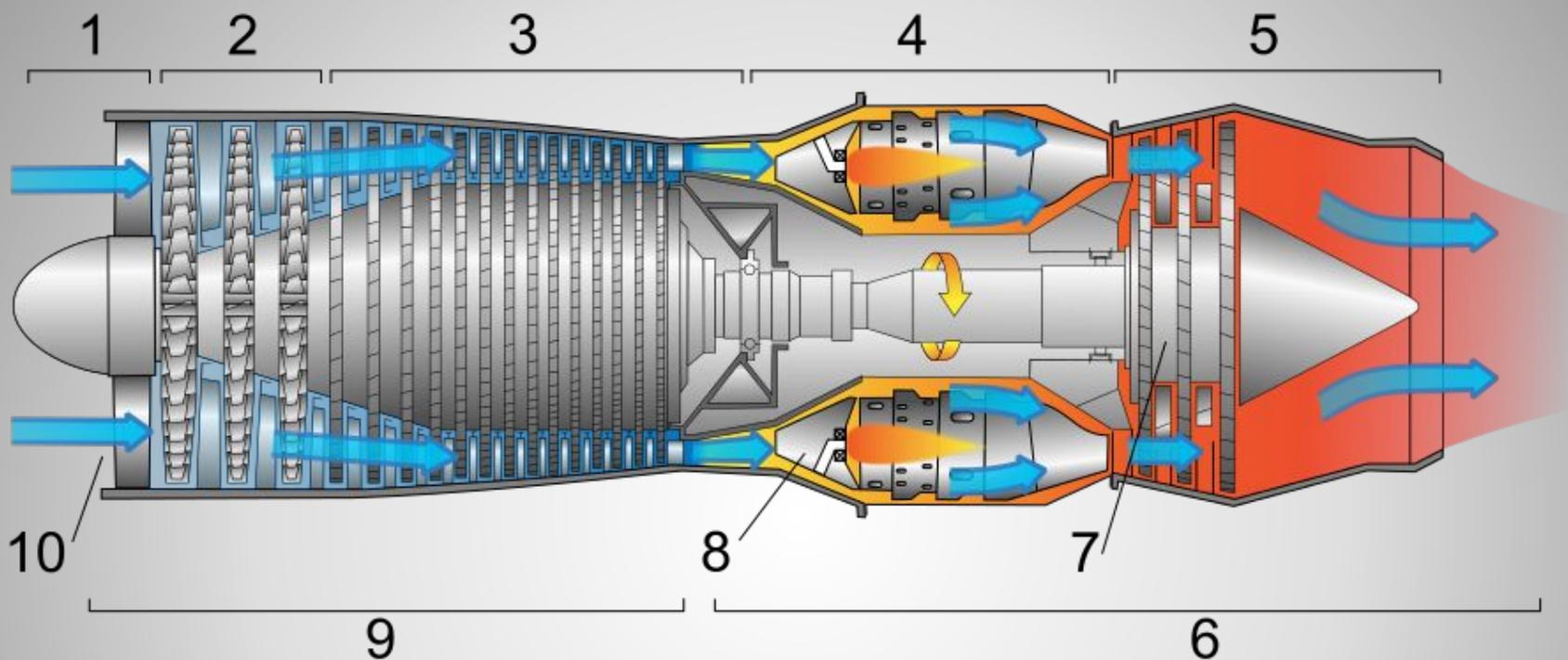


Схема работы ТРД: 1. Забор воздуха 2. Компрессор низкого давления 3. Компрессор высокого давления 4. Камера сгорания 5. Расширение рабочего тела в турбине и сопле 6. Горячая зона 7. Турбина 8. Зона входа первичного воздуха в камеру сгорания 9. Холодная зона 10. Входное устройство

- **Твёрдотопливный ракетный двигатель**

- Твердотопливный ракетный двигатель (РДТТ). В РДТТ всё топливо в виде заряда помещается в камеру сгорания; двигатель обычно работает непрерывно до полного выгорания топлива.
- РДТТ были первыми ракетными двигателями, нашедшими практическое применение. Ракеты с РДТТ (пороховые ракеты) известны уже около 1000 лет; они использовались как сигнальные, фейерверочные, боевые. Описания "огненных стрел" — прототипов пороховых ракет — содержатся в китайских и Сюэцзюйских рукописях 10 в. Это оружие представляло собой обычные стрелы, к которым прикреплялись бамбуковые трубки, заполненные порохом. В 1-й половине 17 в. в "Уставе" Онисима Михайлова описываются первые русские ракеты — артиллерийские ядра с каналом, в котором помещался пороховой заряд. В 1798 индийцы применяли боевые ракеты против английских колонизаторов, а в 1807 англичане использовали подобные ракеты в войне с Данией (при осаде Копенгагена). Первоначально топливом для РДТТ служил дымный порох. В конце 19 в. был разработан бездымный порох, превосходивший дымный по устойчивости горения и работоспособности. В дальнейшем были получены новые высокоэффективные виды твёрдых топлив, что позволило конструировать боевые ракеты с РДТТ самой различной дальности, вплоть до межконтинентальных баллистических ракет.



**ТВЕРДОТОПЛИВНЫЙ
РАКЕТНЫЙ
ДВИГАТЕЛЬ (ТТРА)**



**ГИБРИДНЫЙ
РАКЕТНЫЙ
ДВИГАТЕЛЬ**

- **Дистилляционный двигатель**

- Существует разработка двигателя с внешним нагревом, в котором ротор в виде пустотелого кольца частично заполнен легкоиспаряемым твёрдым телом. Незаполненная часть ротора и часть рабочего тела нагреваются, образующийся пар перетекает из нагретой части ротора в ненагретую, нарушая тем самым равновесие ротор в поле силы тяжести. В результате ротор приводится во вращение. Особенностью двигателя является согласованность скорости вращения его ротора со скоростью испарения рабочего тела. Двигатель разработан для осуществления зонной дистилляции с многократным повторением в устройстве с вращающимся контейнером.

