



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

Институт двигателей и энергетических установок
Кафедра теории двигателей летательных аппаратов

Глава 4. Основные закономерности рабочего процесса ГТД

§ 4.6. Зависимости удельной тяги и удельного расхода топлива от температуры газа перед турбиной

Пусть температура газа перед турбиной изменяется $T_{\Gamma}^* = \text{var}$ при условии, что $\pi_{\Sigma} = \text{const}$, $m = \text{const}$, $x = \text{const}$, $V_{\Pi} = \text{const}$, $T_{\text{H}} = \text{const}$, $\eta_{\text{сж}} = \text{const}$, $\eta_{\text{p}} = \text{const}$, $\eta_{\text{II}} = \text{const}$ и $\eta_{\Gamma} = \text{const}$.

4.6.1. Зависимость удельной тяги от температуры газа перед турбиной

Влияние температуры газа перед турбиной на удельную тягу $P_{\text{уд}}$ целесообразно анализировать по формуле

$$P_{\text{уд}} = \sqrt{\frac{2 \cdot L_e \cdot \eta_{\Gamma\text{II}}}{1+m} + V_{\Pi}^2} - V_{\Pi}.$$

С повышением $T_{\Gamma}^* \uparrow$ работа цикла возрастает $L_e \uparrow$.

При изменении температуры T_{Γ}^* не сохраняется постоянным и коэффициент $\eta_{\Gamma\text{II}}$, однако при принятых условиях он изменяется качественно так же, как и L_e :

$$\eta_{\Gamma\text{II}} \uparrow = 1 - \frac{V_{\Pi}^2/2}{L_e \uparrow} (1 - \eta_{\text{II}}) \cdot m - x (1 - \eta_{\text{II}}).$$

Таким образом, с увеличением $T_{\Gamma}^* \uparrow$ удельная тяга: $P_{уд} \uparrow$ повышается на всех трех типах ГТД:

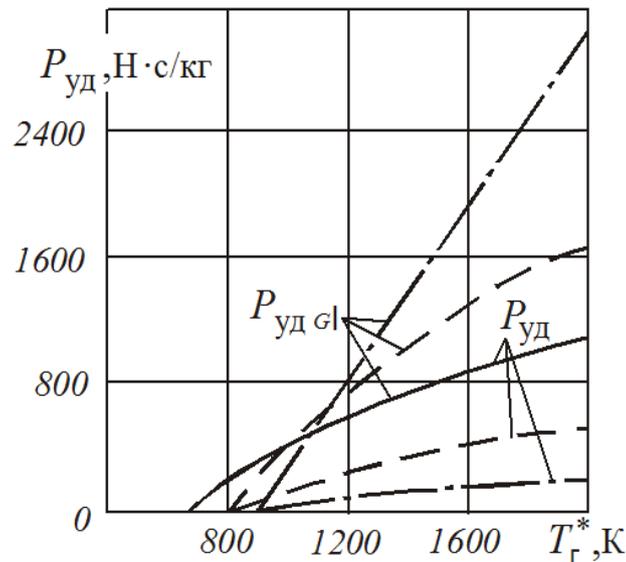
$$P_{уд} \uparrow = \sqrt{\frac{2 \cdot L_e \uparrow \cdot \eta_{rII} \uparrow}{1+m} + V_{п}^2} - V_{п}.$$

Это объясняется увеличением количества тепла, подведенного к рабочему телу.

Аналогичным образом изменяется удельная тяга $P_{удGI}$:

$$P_{удGI} \uparrow = P_{уд} \uparrow \cdot (1+m).$$

Рисунок - Зависимость удельной тяги от T_{Γ}^*
(Сплошная линия соответствует ТРД,
пунктирная — ТРДД, штрихпунктирная - ТВД)



Рост $P_{уд}$ при условии обеспечения заданной тяги P ведет к снижению потребного расхода воздуха G_B , габаритов и массы двигателя. Поэтому **увеличение температуры газа перед турбиной – основная тенденция авиационного двигателестроения.**

При уменьшении T_{Γ}^* до минимального значения $T_{\Gamma}^* = T_{\Gamma \min}^*$ удельная тяга ГТД падает до нуля $P_{уд} = 0$, так как количество подведенного к рабочему телу тепла становится равным величине потерь тепла с выхлопными газами $Q_1 = Q_2$.

Для **ТРД** работа цикла при этом равна нулю $L_e = 0$.

В **ТРДД** и **ТВД** к потерям в основном контуре двигателя добавляются гидравлические потери в движителе. Поэтому в этих двигателях количество тепла Q_1 , подведенного к рабочему телу и затраченного на преодоление потерь, соответственно больше. Следовательно,

$$T_{\Gamma \min \text{ТВД}}^* > T_{\Gamma \min \text{ТРДД}}^* > T_{\Gamma \min \text{ТРД}}^*,$$

а работа цикла больше нуля $L_e > 0$ и затрачивается на преодоление гидравлических потерь в наружном контуре (винте).

4.6.2. Зависимость удельного расхода топлива от температуры газа перед турбиной

Удельный расход топлива $C_{уд}$ изменяется обратно пропорционально общему КПД η_o

$$C_{уд} = \frac{3600}{H_u} \cdot \frac{V_{п}}{\eta_o},$$

который равен произведению эффективного КПД η_e на коэффициент гидравлических потерь $\eta_{гII}$ и на полетный КПД $\eta_{п}$:

$$\eta_o = \eta_e \cdot \eta_{гII} \cdot \eta_{п}.$$

Подчеркнем, что влияние коэффициента $\eta_{гII}$ качественно не отличается от влияния эффективного КПД η_e , так как физические причины их изменения одинаковы. Поэтому далее анализ функции трех переменных $\eta_o = f(\eta_e, \eta_{гII}, \eta_{п})$ заменен анализом функции двух переменных $\eta_o = f(\eta_e, \eta_{п})$, что делает такой анализ более простым, но не менее строгим.

При минимальной температуре $T_{\Gamma}^* = T_{\Gamma \min}^*$ общий КПД двигателя равен нулю $\eta_o = 0$, а удельный расход топлива стремится к бесконечности $C_{уд} \rightarrow \infty$, так как в этом случае удельная тяга двигателя равна нулю $P_{уд} = 0$.

С повышением температуры газа перед турбиной $T_{\Gamma}^* \uparrow$ увеличивается эффективный КПД $\eta_e \uparrow$, а также коэффициент $\eta_{rII} \uparrow$, что объясняется увеличением работы цикла $L_e \uparrow$ и уменьшением доли тепла, идущего на преодоление гидравлических потерь в обоих контурах двигателя. Одновременно увеличивается скорость рабочего тела за движителем $c_C \uparrow$, так как

$$c_C = \sqrt{\frac{2 \cdot L_e \cdot \eta_{rII}}{1+m} + V_{\Pi}^2},$$

а следовательно, и потери кинетической энергии с выходной скоростью, т.е. уменьшается полетный КПД $\eta_{\Pi} \downarrow$:

$$\eta_{\Pi} = \frac{2}{c_C / V_{\Pi} + 1}.$$

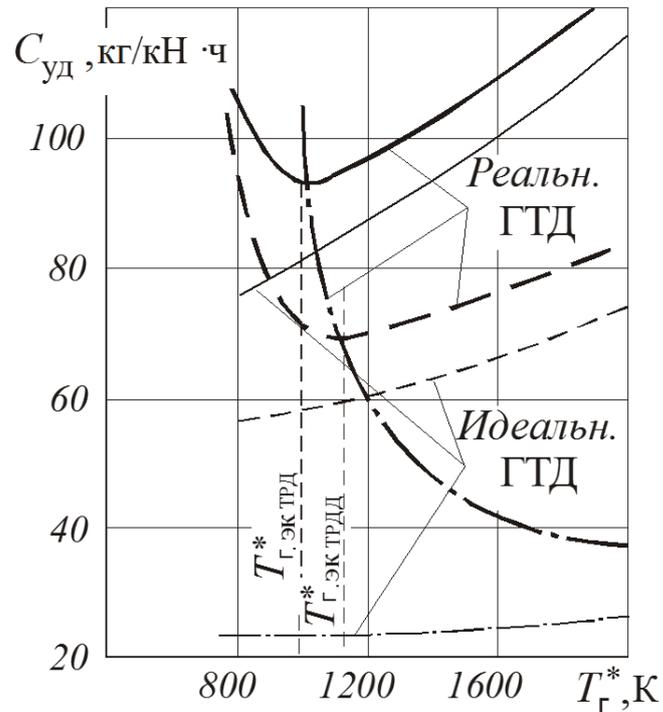
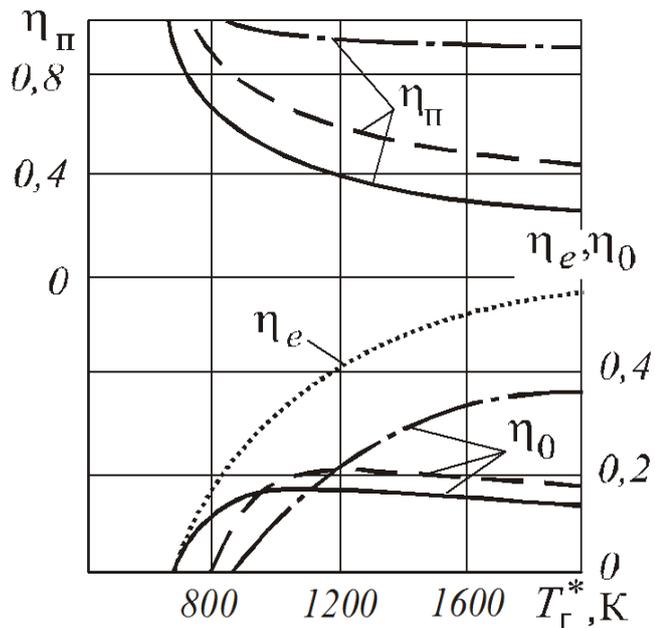


Рисунок - Зависимости общего КПД и удельного расхода топлива от T_{Γ}^*
 (Сплошная линия соответствует ТРД, пунктирная — ТРДД, штрихпунктирная - ТВД)

Таким образом, с увеличением T_{Γ}^* на общий КПД η_0 и удельный расход топлива $C_{уд}$ два фактора оказывают противоположное влияние. Вначале (при небольших температурах) преобладает уменьшение доли тепла, идущего на преодоление гидравлических потерь, затем (при высоких температурах) – увеличение потерь кинетической энергии.

Это приводит к тому, что общий КПД вначале увеличивается, затем уменьшается. При некоторой температуре, которую называют экономической $T_{\Gamma_{ЭК}}^*$, имеет место максимум.