



**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

## **§ 4.7. Зависимости удельной тяги и удельного расхода топлива от суммарной степени повышения давления**

Пусть суммарная степень повышения давления изменяется  $\pi_{\Sigma} = \text{var}$  при условии, что  $T_{\Gamma}^* = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ ,  $x = \text{const}$ ,  $V_{\Pi} = \text{const}$ ,  $T_{\text{H}} = \text{const}$ ,  $\eta_{\text{сж}} = \text{const}$ ,  $\eta_{\text{p}} = \text{const}$ ,  $\eta_{\text{II}} = \text{const}$  и  $\eta_{\Gamma} = \text{const}$ .

#### 4.7.1. Зависимость удельной тяги от суммарной степени повышения давления

Влияние температуры газа перед турбиной на удельные тяги  $P_{\text{уд}}$  и  $P_{\text{удGI}}$  проанализируем по формулам

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

Зависимости удельных тяг  $P_{\text{уд}}$  и  $P_{\text{удGI}}$  от  $\pi_{\Sigma}$  имеет максимум.

Максимум удельной тяги всех трех типов ГТД совпадает с максимумом работы цикла  $L_e$ , т.е. достигается при оптимальной степени повышения давления  $\pi_{\Sigma \text{opt}}$  и объясняется противоположным влиянием на  $L_e$  двух факторов: увеличением термического КПД  $\eta_t$  с ростом  $\pi_{\Sigma}$  и одновременным уменьшением количества подведенного тепла.

При минимальной степени повышения давления  $\pi_{\Sigma} = \pi_{\Sigma \min}$  удельная тяга равна нулю

$$P_{уд} = 0.$$

Для **ТРД**  $\pi_{\Sigma \min} = 1$ , при этом  $L_e = 0$ .

Для **ТРДД** и **ТВД**  $\pi_{\Sigma \min} > 1$  и  $L_e > 0$ , при этом вся работа цикла затрачивается на преодоление гидравлических потерь в наружном контуре ТРДД (винте ТВД), а коэффициент гидравлических потерь равен нулю  $\eta_{rII} = 0$ . Так как с ростом степени двухконтурности гидравлические потери увеличиваются, то

$$\pi_{\Sigma \min \text{ ТВД}} > \pi_{\Sigma \min \text{ ТРДД}} > \pi_{\Sigma \min \text{ ТРД}}.$$

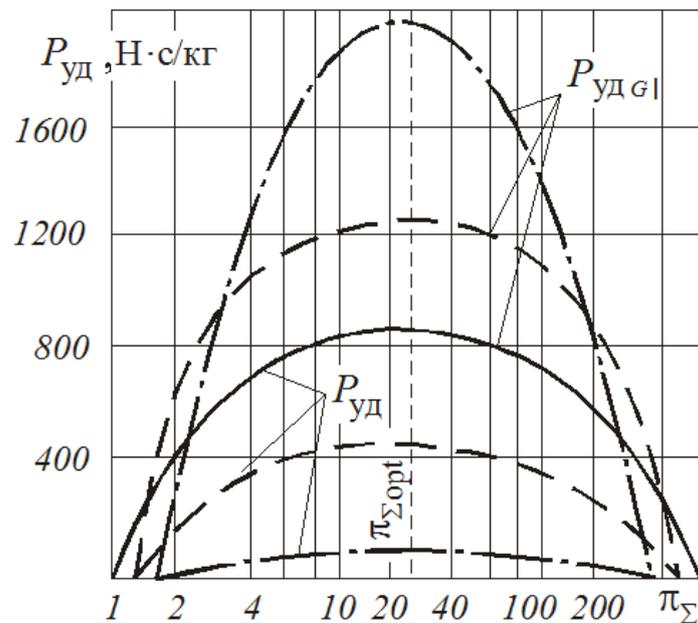


Рисунок - Зависимость удельной тяги от  $\pi_{\Sigma}$   
(Сплошная линия соответствует ТРД, пунктирная — ТРДД, штрихпунктирная - ТВД)

При предельной степени повышения давления  $\pi_{\Sigma} = \pi_{\Sigma \text{пр}}$ , когда подведенное тепло, уменьшаясь, становится равным потерям в обоих контурах двигателя, удельная тяга также обращается в нуль  $P_{\text{уд}} = 0$ .

Для **ТРД** при  $\pi_{\Sigma} = \pi_{\Sigma \text{пр}}$  работа цикла равна нулю  $L_e = 0$ .

Для **ТРДД** и **ТВД** работа цикла в предельной точке больше нуля  $L_e > 0$ , она затрачивается на преодоление гидравлических потерь в наружном контуре (винте). Поэтому

$$\pi_{\Sigma \text{пр ТВД}} < \pi_{\Sigma \text{пр ТРДД}} < \pi_{\Sigma \text{пр ТРД}}.$$

#### 4.7.2. Зависимость удельного расхода топлива от суммарной степени повышения давления

Зависимость общего КПД  $\eta_o$  от суммарной степени повышения давления  $\pi_\Sigma$  имеет максимум, а удельного расхода топлива  $C_{уд}$  – минимум.

Максимум общего КПД  $\eta_o$  и минимум удельного расхода топлива  $C_{уд}$  достигаются при суммарной степени повышения давления, которую называют экономической  $\pi_{\Sigma эк}$ . Наличие максимума  $\eta_o$  (минимума  $C_{уд}$ ) объясняется противоположным влиянием двух факторов: увеличением термического КПД  $\eta_t$  с ростом  $\pi_\Sigma$  и одновременным уменьшением количества подведенного тепла.

Однако на величину  $\eta_o$  ( $C_{уд}$ ), строго говоря, влияет не уменьшение количества подведенного тепла, а возникающее в результате этого увеличение доли тепла, идущего на преодоление гидравлических потерь, т.е. уменьшение коэффициентов гидравлических потерь  $\eta_{гI}$  и  $\eta_{гII}$ .

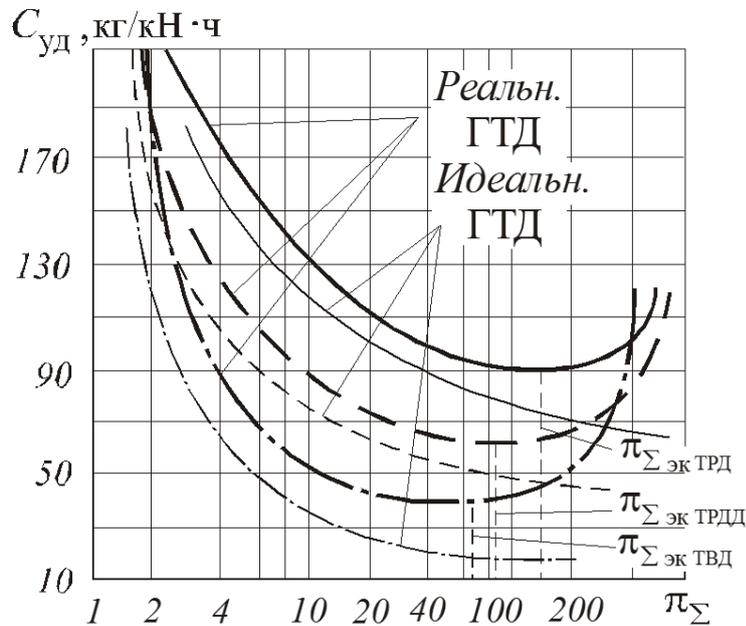
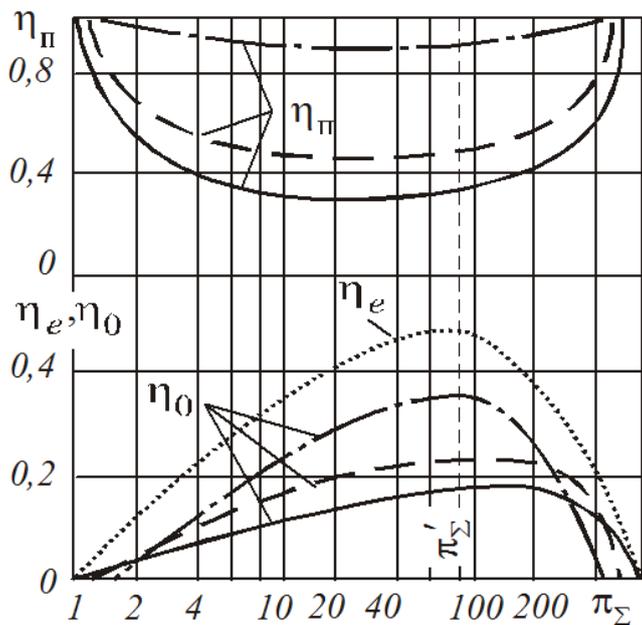


Рисунок - Зависимости общего КПД и удельного расхода топлива от  $\pi_{\Sigma}$   
 (Сплошная линия соответствует ТРД, пунктирная — ТРДД, штрихпунктирная - ТВД)

Разные типы ГТД имеют различные значения  $\pi_{\Sigma_{ЭК}}$ .

Для **ТВД**  $\pi_{\Sigma_{ЭК}} = \pi'_{\Sigma}$  (максимум общего и эффективного КПД достигается при одинаковом  $\pi_{\Sigma}$ ), так как КПД двигателя  $\eta_{ДЖ}$  ТВД сохраняется практически постоянным в диапазоне величин  $\pi_{\Sigma}$ , близких к  $\pi'_{\Sigma}$ .

Для **ТРД** величина  $\pi_{\Sigma_{ЭК}} > \pi'_{\Sigma}$ , поскольку в диапазоне степеней повышения давления от  $\pi'_{\Sigma}$  до  $\pi_{\Sigma_{ЭК}}$  общий КПД возрастает вследствие увеличения полетного КПД  $\eta_{П}$  и преобладающего влияния его на  $\eta_0$ .

Изменение полетного КПД  $\eta_{П}$  в зависимости от  $\pi_{\Sigma}$  определяется изменением работы цикла  $L_e$  в соответствии с формулами

$$c_C = \sqrt{\frac{2 \cdot L_e \cdot \eta_{rП}}{1+m} + V_{П}^2},$$
$$\eta_{П} = \frac{2}{c_C / V_{П} + 1}.$$

По интенсивности изменения функции  $\eta_{\Pi} = f(\pi_{\Sigma})$  **ТРДД** занимает промежуточное положение между ТРД и ТВД. Такое же положение занимает и экономическая степень повышения давления  $\pi_{\Sigma \text{ЭК}}$  ТРДД, т.е.

$$\pi_{\Sigma \text{ЭК ТВД}} > \pi_{\Sigma \text{ЭК ТРДД}} > \pi_{\Sigma \text{ЭК ТРД}} = \pi'_{\Sigma}.$$

При минимальной степени повышения давления  $\pi_{\Sigma \text{min}}$  и  $\pi_{\Sigma \text{пр}}$  общий КПД равен нулю  $\eta_0 = 0$ , а удельный расход топлива стремится к бесконечности  $C_{\text{уд}} \rightarrow \infty$  по тем же причинам, из-за которых удельная тяга обращается в нуль  $P_{\text{уд}} = 0$ .

Следует иметь в виду, что на двигателях, предназначенных для дозвуковых пассажирских и транспортных самолетов, реализованные в настоящее время степени повышения давления незначительно превосходят оптимальные, но существенно меньше экономических ( $\pi_{\Sigma_{\text{ЭК}}}$ , как и  $\pi'_{\Sigma}$ , в 2 ... 4 раза превышают  $\pi_{\Sigma_{\text{opt}}}$ ). Поэтому дальнейшее увеличение  $\pi_{\Sigma}$  ( $\pi_{\text{к}}^*$ ) на этих двигателях приводит к незначительному изменению удельной тяги, поскольку в окрестностях максимума функция  $P_{\text{уд}} = f(\pi_{\Sigma})$  пологая, а удельный расход топлива  $C_{\text{уд}}$  с увеличением  $\pi_{\Sigma}$ , как правило, снижается – это главная закономерность его изменения по  $\pi_{\Sigma}$ , а увеличение  $\pi_{\text{к}}^*$  – основная тенденция развития авиационного двигателестроения.