



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 8. Анализ основных характеристик ТРДД

§ 8.5. Анализ скоростных характеристик

Задание

Проанализируйте скоростные характеристики двухвального ТРДД при $T_{\Gamma}^* = \text{const}$.

Определение

Скоростными характеристиками ТРДД называют зависимости тяги, удельного расхода топлива, расхода воздуха, температуры и давления рабочего тела в различных сечениях и других параметров двигателя от скорости полета M_{Π} на постоянном режиме работы двигателя и при неизменной высоте полета $H_{\Pi} = \text{const}$.

Схема двигателя (см. § 8.2.)

Допущения (см. § 8.2.)

Анализ

Пусть скорость полета увеличивается $M_{\Pi} \uparrow$ при $T_{\Gamma}^* = \text{const}$, $H_{\Pi} = \text{const}$ ($p_{\text{H}} = \text{const}$, $T_{\text{H}} = \text{const}$).

При увеличении скорости полета увеличиваются степень повышения давления от скоростного напора набегающего потока, полная температура и давление набегающего потока рабочего тела перед двигателем:

$$\pi_V \uparrow, p_{\text{H}}^* \uparrow, T_{\text{H}}^* \uparrow.$$

Снижаются отношение температур $T_{\Gamma}^*/T_{\text{H}}^*$ и приведенная температура газа перед турбиной:

$$\left(T_{\Gamma}^*/T_{\text{H}}^* \uparrow \right) \downarrow; T_{\Gamma.\text{пр}}^* \downarrow = T_{\Gamma}^* \cdot \sqrt{\frac{288}{T_{\text{H}}^* \uparrow}}.$$

Следовательно, рабочая точка на характеристике КВД смещается влево вниз.

рт \swarrow по лср на хар. квд ;

$$\pi_{\text{квд}}^* \downarrow ;$$

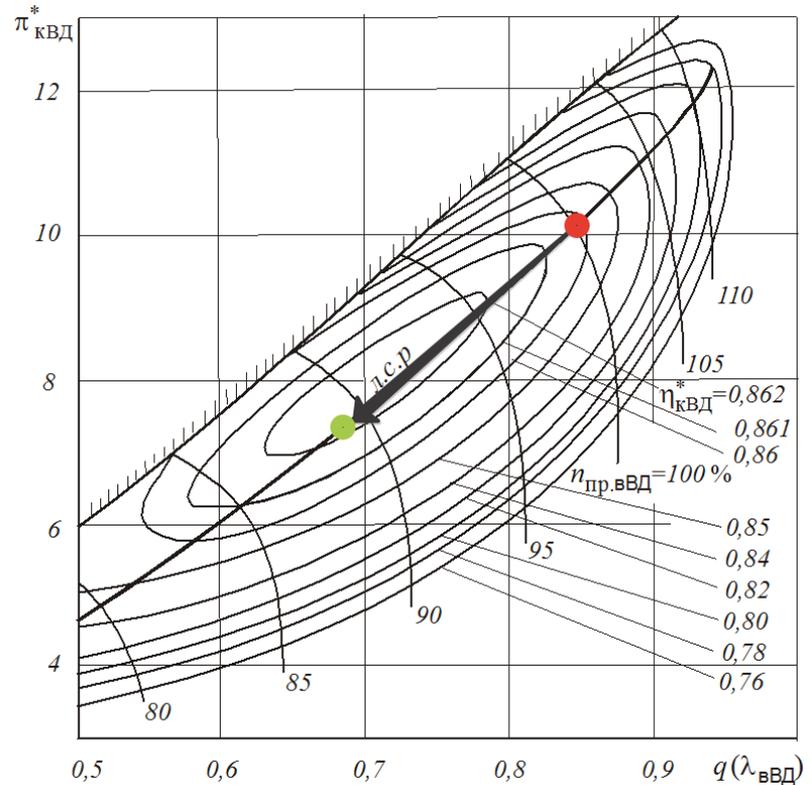
$$q(\lambda_{\text{ВВД}}) \downarrow ;$$

$$n_{\text{вд. пр. ВВД}} \downarrow$$

$$\left(T_{\Gamma}^* / T_{\text{ВВД}}^* \right) \downarrow ;$$

$$l_{\text{квд}} \downarrow ;$$

$$\left(T_{\text{К}}^* / T_{\text{ВВД}}^* \right) \downarrow .$$



Аналогично:

рт \swarrow по лср на хар. кнд ;

$\pi_{\text{кнд}}^* \downarrow$;

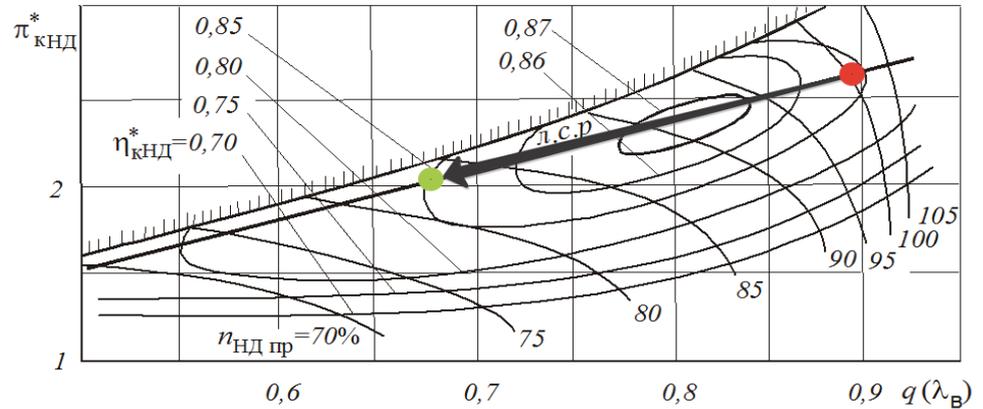
$q(\lambda_{\text{в}}) \downarrow$;

$n_{\text{нд.пр}} \downarrow$;

$\eta_{\text{кнд}}^* \downarrow$;

$l_{\text{кнд}} \downarrow$;

$\left(T_{\text{ввд}}^* / T_{\text{в}}^* \right) \downarrow$.



Степень двухконтурности и скольжение роторов увеличиваются

$$m \uparrow, \left(n_{ВД} / n_{НД} \right) \uparrow.$$

В соответствии с уравнением баланса мощности компрессора и турбины ВД уменьшается отношение температур $T_{\Gamma}^* / T_{\text{К}}^*$:

$$\left(\frac{l_{\text{КВД}}}{1 + l_{\text{КВД}}} \right) \downarrow = \left(\frac{T_{\Gamma}^*}{T_{\text{К}}^*} \right) \downarrow \cdot l_{\text{ТВД}} \cdot B_{\text{ВД}}.$$

Уменьшаются отношения температур $T_{\text{К}}^* / T_{\text{Н}}^*$ и $T_{\Gamma}^* / T_{\text{Н}}^*$:

$$\left(T_{\text{К}}^* / T_{\text{Н}}^* \right) \downarrow,$$

$$\left(T_{\Gamma}^* / T_{\text{Н}}^* \right) \downarrow.$$

Вследствие уменьшения отношения температур $(T_{\Gamma}^*/T_{\text{ВВД}}^*) \downarrow$ и $(T_{\Gamma}^*/T_{\text{К}}^*) \downarrow$ увеличиваются полные температуры в сечениях за компрессорами НД и ВД, а также в сечении на входе в сопло наружного контура:

$$T_{\text{ВВД}}^* \uparrow = \frac{T_{\Gamma}^* (= \text{const})}{(T_{\Gamma}^*/T_{\text{ВВД}}^*) \downarrow},$$

$$T_{\text{К}}^* \uparrow = \frac{T_{\Gamma}^*}{(T_{\Gamma}^*/T_{\text{К}}^*) \downarrow},$$

$$T_{\text{II}}^* \uparrow \sim T_{\text{ВВД}}^* \uparrow.$$

Полные температуры в сечениях за турбинами ВД и НД пропорциональны T_{Γ}^* , поэтому не изменяются:

$$T_{\Gamma\text{НД}}^* = \text{const} ;$$

$$T_{\Gamma}^* = \text{const} ;$$

Относительный расход топлива в камере сгорания уменьшается:

$$q_m \downarrow \sim (T_{\Gamma}^* - T_{\text{К}}^* \uparrow) .$$

Уменьшается суммарная степень повышения давления в компрессоре

$$\pi_{\kappa\Sigma}^* \downarrow ,$$

однако, располагаемые степени понижения давления в соплах внутреннего и наружного контуров возрастают вследствие преобладающего влияния увеличения π_V :

$$\pi_{\text{ср}} \uparrow = \frac{\pi_V \uparrow \uparrow \cdot \sigma_{\text{вх}} \cdot \pi_{\text{кнд}}^* \downarrow \cdot \pi_{\text{квд}}^* \downarrow \cdot \sigma_{\text{кс}}}{\pi_{\text{твд}}^* \cdot \pi_{\text{тнд}}^*} ;$$

$$\pi_{\text{срII}} \uparrow = \pi_V \uparrow \uparrow \cdot \sigma_{\text{вх}} \cdot \pi_{\text{кII}}^* \downarrow \cdot \sigma_{\text{II}} .$$

Скорости истечения рабочего тела из сопел увеличиваются:

$$c_C \uparrow = \varphi_c \sqrt{2000 \cdot c_{p2} \cdot T_T^* \cdot \left(1 - \frac{1}{\frac{k_2 - 1}{k_2} \pi_{cp} \uparrow} \right)};$$

$$c_{CII} \uparrow = \varphi_{cII} \sqrt{2000 \cdot c_{pв} \cdot T_{II}^* \uparrow \cdot \left(1 - \frac{1}{\frac{k_в - 1}{k_в} \pi_{cpII} \uparrow} \right)}.$$

Удельные тяги уменьшаются, так как скорость истечения увеличивается меньше, чем скорость полета:

$$P_{Iуд} \downarrow \approx (c_C \uparrow - V_{п} \uparrow \uparrow);$$

$$P_{IIуд} \downarrow \approx (c_{CII} \uparrow - V_{п} \uparrow \uparrow);$$

$$P_{уд} \downarrow = \frac{P_{Iуд} \downarrow + P_{IIуд} \downarrow \cdot m}{1 + m}.$$

Рост π_V оказывает преобладающее влияние на суммарную степень повышения давления. Соответственно увеличивается давление рабочего тела во всех сечениях проточной части двигателя, расход воздуха через внутренний контур, суммарный расход воздуха через двигатель:

$$p_i^* \uparrow .$$

Увеличение давления оказывает решающее влияние на расход воздуха:

$$G_B \uparrow \sim \frac{p_B^* \uparrow \uparrow q(\lambda_B) \downarrow}{\sqrt{T_B^* \uparrow}} ;$$

$$G_{BI} \uparrow \sim \frac{p_{\Gamma}^* \uparrow \uparrow}{\sqrt{T_{\Gamma}^* \uparrow}} ;$$

$$G_{BII} \uparrow \sim \frac{p_{II}^* \uparrow \uparrow}{\sqrt{T_{II}^* \uparrow}} .$$

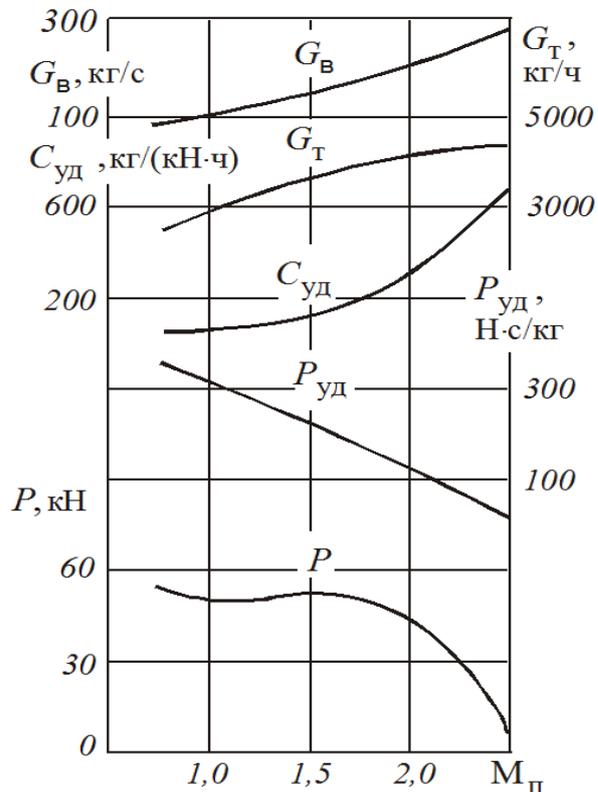
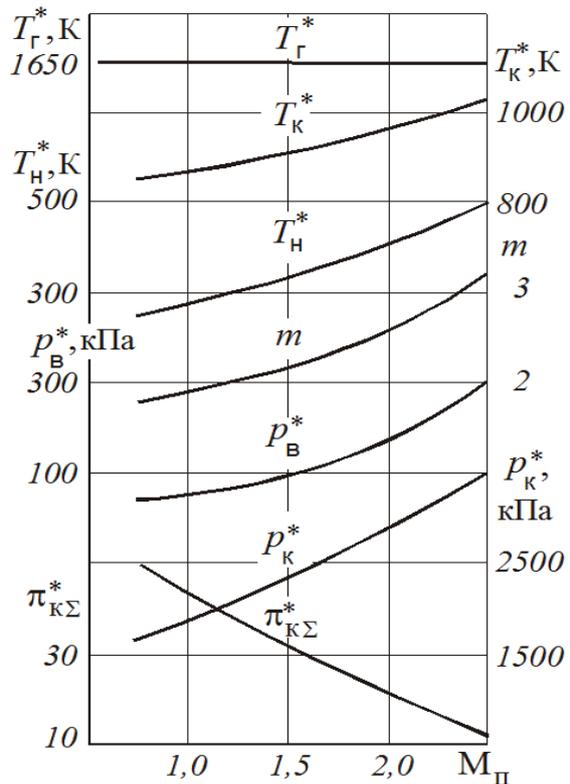
В свою очередь, изменение расхода воздуха оказывает основное влияние на расход топлива:

$$G_m \uparrow \sim (q_m \downarrow \cdot G_{\text{ВЛ}} \uparrow \uparrow).$$

Тяга двигателя имеет сложный характер изменения. Вначале (при увеличении $V_{\text{П}}$ от 0 до 300...500 км/ч) она обычно снижается, затем изменяется незначительно, так как противоположные изменения удельной тяги и расхода воздуха в значительной степени компенсируют друг друга. Далее, на сверхзвуковых скоростях она обычно увеличивается из-за преобладающего влияния роста расхода воздуха. Достигнув максимума, она снижается до нуля при предельной скорости полета $V_{\text{П.пр}}$, так как на этой скорости удельная тяга равна нулю.

На всех типах ГТД удельный расход топлива увеличивается по скорости полета, так как увеличение скорости полета преобладает над ростом общего КПД. Это объясняется тем, что величина $C_{\text{уд}}$ определяется как отношение расхода топлива к тяге, а не к работе передвижения.

Графики высотных характеристик ТРДД



Выводы ...