



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 9. Особенности ГТД с регулируемыми площадями характерных сечений

§ 9.2. Обобщенные характеристики одновального ТРД с регулируемой площадью сопла

9.2.1. Регулирование площади сопла при $T_{\Gamma}^* = \text{const}$

Пусть площадь сопла увеличивается $F_{\text{С.КР}} \uparrow$ при $T_{\Gamma}^* = \text{const}$, а также при неизменных внешних условиях ($T_{\text{H}} = \text{const}$, $p_{\text{H}} = \text{const}$, $M_{\text{П}} = \text{const}$) и сверхкритическом истечении газа из сопла ($q(\lambda_{\text{С.КР}}) = 1$, $q(\lambda_{\text{СА}}) = 1$).

Как было отмечено ранее, увеличение площади выходного сечения $F_{\text{С.КР}} \uparrow$ приводит к возрастанию $\pi_{\text{T}}^* \uparrow$ и $l_{\text{T}} \uparrow$.

Из уравнения баланса мощности

$$l_{\text{к}} = \frac{T_{\Gamma}^*}{T_{\text{в}}^*} \cdot l_{\text{т}} \cdot B$$

следует, что с увеличением $\pi_{\text{т}}^* \uparrow$ при $T_{\Gamma}^* = \text{const}$ возрастает степень повышения давления компрессора $\pi_{\text{к}}^* \uparrow$ и степень повышения температуры в компрессоре $(T_{\text{к}}^*/T_{\text{в}}^*) \uparrow$, так как увеличенному значению работы турбины соответствует увеличенное значение работы компрессора $l_{\text{к}} \uparrow$.

Согласно условию неразрывности

$$q(\lambda_B) = \frac{\pi_K^*}{\sqrt{T_{\Gamma}^*/T_B^*}} \cdot A$$

повышению $\pi_K^* \uparrow$ должно соответствовать увеличенное значение $q(\lambda_B) \uparrow$, так как расход воздуха через минимальное сечение соплового аппарата турбины изменяется при принятом условии ($T_{\Gamma}^* = \text{const}$) пропорционально полному давлению $p_{\Gamma}^* = p_B^* \cdot \pi_K^* \cdot \sigma_{\text{КС}}$.

В результате каждая рабочая точка на характеристике компрессора смещается по линии $T_{\Gamma.\text{пр}}^* = \text{const}$ вправо вверх ($p_{\Gamma} \nearrow$), что приводит к смещению линии совместной работы вниз ($\text{лср} \searrow$) и увеличению запасов устойчивой работы $\Delta K_y \uparrow$.

Такое смещение линии – следствие уменьшения теплового сопротивления вследствие снижения степени подогрева газа в камере сгорания $(T_{Г}^*/T_{К}^*) \downarrow$ и увеличения ее пропускной способности. Одновременно увеличивается приведенная частота вращения ротора $n_{пр} \uparrow$.

Подчеркнем, что в каждой точке характеристики компрессора с нанесенными линиями $T_{Г.пр}^* = \text{const}$ и $F_{С.КР} = \text{const}$ могут быть легко определены не только $\pi_{к}^*$, $q(\lambda_{В})$, $n_{пр}$, но также $T_{Г.пр}^*$ и $F_{С.КР}$.

С возрастанием площади $F_{С.КР} \uparrow$ удельная работа турбины увеличивается $L_{Т} \uparrow$, а температура газа за турбиной одновального ТРД снижается $T_{Т}^* \downarrow$ вследствие увеличения относительной работы турбины $l_{Т} \uparrow$.

Степень понижения давления газа в канале сопла обычно повышается $\pi_{с.р} \uparrow$, так как увеличению $\pi_{Т}^* \uparrow$ соответствует более значительный рост $\pi_{к}^* \uparrow \uparrow$.

Удельная тяга в большинстве случаев изменяется незначительно в связи с тем, что изменение определяющих ее величин $T_T^* \downarrow$ и $\pi_{c.p} \uparrow$ частично компенсируется.

Относительный расход топлива при этом уменьшается $q_m \downarrow$ из-за увеличения температуры воздуха за компрессором $T_K^* \uparrow$. Поэтому и удельный расход топлива с увеличением $F_{C.KP} \uparrow$ обычно уменьшается $C_{уд} \downarrow$, если КПД узлов изменяются незначительно.

Изменение удельной тяги и удельного расхода топлива в большой степени определяется изменением КПД компрессора η_K^* и турбины η_T^* , а также коэффициента скорости сопла φ_c .

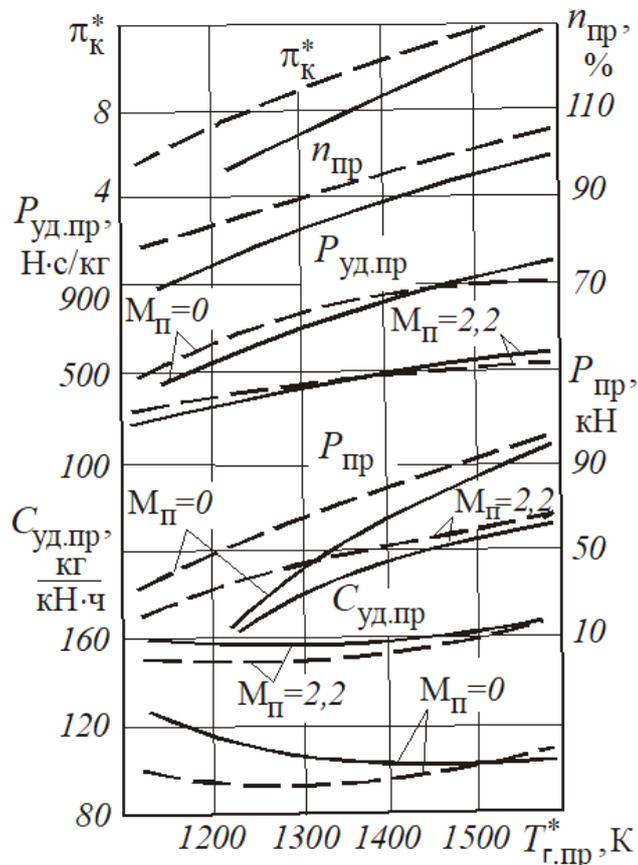
При высоких $n_{пр}$ с увеличением площади сопла $F_{C.KP} \uparrow$ КПД компрессора чаще всего снижается $\eta_K^* \downarrow$, при значительном её увеличении $F_{C.KP} \uparrow \uparrow$ снижаются также КПД турбины $\eta_T^* \downarrow$ и коэффициент скорости сопла $\varphi_c \downarrow$ вследствие увеличения скорости газового потока на выходе из турбины.

Снижение эффективности работы узлов ведет к уменьшению удельной тяги $P_{уд} \downarrow$ и к увеличению удельного расхода топлива $C_{уд} \uparrow$.

Тяга двигателя при $F_{C.KP} \uparrow$ и $T_{Г}^* = \text{const}$ возрастает $P \uparrow$ в зоне средних значений $n_{пр}$ благодаря повышению расхода воздуха $G_B \uparrow$.

При больших $n_{пр}$ тяга уменьшается $P \downarrow$, так как величина G_B изменяется незначительно, а $P_{уд} \downarrow$ уменьшается вследствие снижения $\eta_{к}^* \downarrow$.

Влияние $F_{C.KP}$ на обобщенные характеристики одновального ТРД при $T_{Г.пр}^* = \text{const}$



9.2.2. Регулирование площади сопла при $n = \text{const}$

Следует отметить, что характер влияния площади сопла на тягу и удельный расход топлива зависит от закона управления двигателя, точнее, от условия, при котором рассматривается это влияние.

Выполним физический анализ влияния $F_{C.KP}$ на параметры выполненного одновального ТРД, управляемого по закону $n = \text{const}$.

С увеличением площади сопла $F_{C.KP} \uparrow$ давление за турбиной снижается $p_T^* \downarrow$, соответственно повышаются удельная работа $L_T \uparrow$ и мощность турбины $N_T \uparrow$.

Мощность, вырабатываемая турбиной, становится больше мощности потребляемой компрессора при исходном уровне частоты вращения

$$N_T \uparrow > N_K,$$

что ведет к увеличению частоты вращения ротора $n \uparrow$.

Но из условия обеспечения $n = \text{const}$ регулятор уменьшает расход топлива через двигатель $G_m \downarrow$, что ведет к снижению температуры $T_{\Gamma}^* \downarrow$, повышению пропускной способности камеры сгорания $q(\lambda_K) \uparrow$, а следовательно к снижению давления за компрессором $p_K^* \downarrow$, смещению рабочей точки на характеристике компрессора вниз ($p_T \downarrow$) по линии $n_{\text{пр}} = \text{const}$ и увеличению $\Delta K_y \uparrow$.

Уменьшаются степень понижения давления в сопле $\pi_{с.р} \downarrow$ и температура за турбиной $T_T^* \downarrow$, удельная тяга $P_{\text{уд}} \downarrow$ и тяга $P \downarrow$.

Удельный расход топлива обычно снижается $C_{\text{уд}} \downarrow$ главным образом из-за уменьшения $T_{\Gamma}^* \downarrow$.

