



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 7. Термодинамические основы управления ГТД

§ 7.4. Управление ГТД из условия поддержания заданного значения частоты вращения ротора

Регуляторы частоты вращения ротора в системах управления ГТД двигателей получили широкое распространение, так как замер и регулирование частоты вращения не вызывают каких-либо затруднений и производятся с высокой точностью.

Структурная схема управления двигателя по закону $n_{вд(нд)} = \text{const}$ не отличается от схемы непосредственного регулирования температуры газа перед турбиной: сигнал замеренной частоты вращения подается в регулятор, где сравнивается с сигналом частоты, заданной углом установки рычага управления двигателем. В случае их несовпадения регулятор подает команду на изменение расхода топлива.

Проанализируем закономерности изменения температуры газа перед турбиной T_{Γ}^* при изменении $T_{\text{Н}}^*$ и управлении двухвальных двигателей по законам $n_{\text{ВД}} = \text{const}$ и $n_{\text{НД}} = \text{const}$. Для этого используем уравнения баланса мощности для газогенератора ВД и турбокомпрессора НД, которые представим в следующем виде:

$$T_{\Gamma}^* = \frac{L_{\text{КВД}}}{c_p \cdot l_{\text{ТВД}} \cdot B_{\text{ВД}}} = \frac{L_{\text{КВД}}}{\text{const}};$$

$$T_{\Gamma}^* = \frac{L_{\text{КНД}} \cdot (1+m)}{c_p \cdot (1-l_{\text{ТВД}}) \cdot l_{\text{ТНД}} \cdot B_{\text{НД}}} = \frac{L_{\text{КНД}} \cdot (1+m)}{\text{const}}.$$

Из этих уравнений следует, что

- если регулируется $n_{\text{ВД}}$, то температура T_{Γ}^* изменяется так же, как $L_{\text{КВД}}$;
- если регулируется $n_{\text{НД}}$, то температура T_{Γ}^* изменяется пропорционально произведению $L_{\text{КНД}} \cdot (1+m)$.

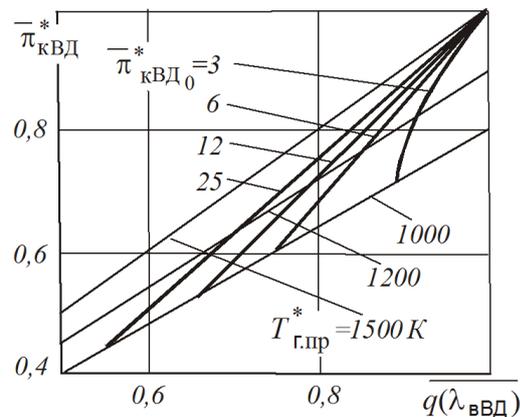
С увеличением $T_H^* \uparrow$ при постоянной частоте вращения ротора ВД $n_{ВД} = \text{const}$

приведенная частота уменьшается $n_{ВД.пр} \downarrow = n_{ВД} \sqrt{\frac{288}{T_H^* \uparrow}}$, рабочая точка по линии совместной работы смещается влево вниз $р\tau \swarrow$, степень повышения давления в компрессоре ВД снижается $\pi_{квд}^* \downarrow$.

Из курса лопаточных машин известно, что при $n_{ВД} = \text{const}$ работа компрессора $L_{квд}$, сохраняется примерно постоянной, если степень повышения давления в исходной точке $\pi_{квд0}^* = 4 \dots 6$. Закономерности изменения работы компрессора при других значениях $\pi_{квд0}^*$ связаны с закономерностями изменения положения линии совместной работы.

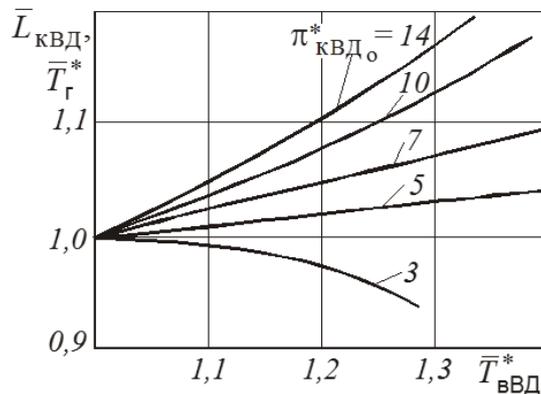
С увеличением $\pi_{\text{квд}0}^*$ угол наклона линии совместной работы уменьшается, что объясняется нелинейным характером функции $l_{\text{квд}} = f(\pi_{\text{квд}}^*)$, которая входит в уравнение [8]. Вследствие нелинейности указанной функции одному и тому же снижению работы $l_{\text{квд}}$ соответствует неодинаковое снижение $\pi_{\text{квд}}^*$ при различных $\pi_{\text{квд}0}^*$.

Например, при уменьшении температуры газа перед турбиной $T_{\text{Г.пр}}^* = T_{\text{Г}}^* \frac{288}{T_{\text{Н}}^*}$ от 1500 до 1000 К и соответствующем снижении работы $l_{\text{к}}$ в 1,5 раза [7] величина $\pi_{\text{к}}^*$ уменьшается в 1,4; 1,7; 1,9 и в 2,2 раза соответственно при $\pi_{\text{к}0}^* = 3; 6; 12$ и 25.



В результате с увеличением $\pi_{\text{к}0}^*$ рабочая точка по линии $T_{\text{Г.пр}}^* = 1000 \text{ K}$ перемещается влево вниз, а линия совместной работы смещается влево вверх, то есть угол ее наклона уменьшается.

Таким образом, чем выше $\pi_{\text{квд}0}^*$ (сверх 4...6), тем значительно растет работа $L_{\text{квд}}$ по $T_{\text{Н}}^*$ ($T_{\text{ВВД}}^*$). А при $\pi_{\text{квд}0}^* < 4$, наоборот, она даже снижается с увеличением $T_{\text{Н}}^*$.



Таким образом, при управлении турбореактивных двигателей по закону $n_{\text{ВД}} = \text{const}$ при увеличении $T_{\text{Н}}^* \uparrow$ в диапазоне дозвуковых скоростей полета:

$$T_{\Gamma}^* \downarrow, \text{ если } \pi_{\text{квд}0}^* < 4;$$

$$T_{\Gamma}^* \approx \text{const}, \text{ если } \pi_{\text{квд}0}^* = 4 \dots 6;$$

$$T_{\Gamma}^* \uparrow, \text{ если } \pi_{\text{квд}0}^* > 6.$$

При $n_{\text{НД}} = \text{const}$ с увеличением $T_{\text{Н}}^* \uparrow$ работа $L_{\text{кНД}} \uparrow$ возрастает более значительно, о чем свидетельствует существенно меньший угол наклона линии совместной работы на характеристике этого компрессора. Еще более значительно по $T_{\text{Н}}^*$ изменяется произведение $[L_{\text{кНД}} \cdot (1+m)] \uparrow$, так как при этом увеличивается еще и степень двухконтурности $m \uparrow$ ТРДД.

Следовательно, при управлении двигателя по закону $n_{\text{НД}} = \text{const}$ температура $T_{\text{Г}}^* \uparrow$ увеличивается с повышением $T_{\text{Н}}^* \uparrow$.