

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОДОГРЕВА В ЦИКЛ ТРДД И ТРДДФСМ

Иванов В.А., Бушуев А.А.

АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, iva-perm@rambler.ru

Ключевые слова: простой цикл, сложный цикл, промежуточный подогрев.

В ТРДД с большой степенью двухконтурности и ТРДДФСм сложного цикла с промежуточным подогревом (далее просто двигатели сложного цикла) предложено использовать, как критерий эффективности, максимум степени понижения давления во внутреннем контуре после турбин компрессора, включающего часть вентилятора, расположенную в этом контуре, до давления на входе в двигатель, который является собственным критерием эффективности этих двигателей [1]. Тогда, $\pi_{к\Sigma}^* = \pi_{в}^* \cdot \pi_{к}^*$ – общая степень повышения давления (СПД) в компрессоре внутреннего контура, включающем собственно компрессор и часть вентилятора, расположенную в этом контуре.

В ТРДД и ТРДДФСм сложного цикла (цикл 1-2) увеличенная за счет промежуточного подогрева свободная энергия использовалась для увеличения степени двухконтурности и была найдена при оптимальном значении параметра $\pi_{т1опт}^*$ ($e_{т1опт\pi_{тв}}$), при котором обеспечивается, как критерий эффективности, максимум степени понижения давления во внутреннем контуре $\pi_{св1-2max}^*$ за счет перераспределения общей степени понижения давления между турбиной вентилятора и турбинами компрессора при подогреве газа между ними [1]:

$$e_{т1опт} = 1/[1 - (e_{к\Sigma} - 1)/2\theta_{г}\eta_{к\Sigma}\eta_{т1}],$$

где $e_{т1} = \pi_{т1}^{*(к-1)/к}$; $\pi_{т1}^*$ – степень понижения давления в первой ступени подогрева (в первой турбине); $\theta_{г} = T_{г}^*/T_{н}^*$ – степень повышения температуры в турбокомпрессоре; $e_{к\Sigma} = \pi_{к\Sigma}^{*(к-1)/к}$.

Параметры ТРДД простого (цикл 1-1) и сложного цикла, в которых степень повышения давления вентилятора принята одинаковой и постоянной $\pi_{в}^* = 1,75$, сравниваются при СПД $\pi_{к\Sigmaопт\pi_{св1-1}}^*$ ($e_{к\Sigmaопт\pi_{св1-1}}$) [1]:

$$e_{к\Sigmaопт\pi_{св1-1}} = (\theta_{г}\eta_{к\Sigma}\eta_{т1} + 1)/2,$$

при которой, как видно из рис. 1, обеспечивается максимум свободной энергии внутреннего контура двигателя сложного цикла $\bar{L}_{св1-2max}$, а также равенство эффективных КПД внутреннего контура двигателей простого и сложного цикла $\eta_{е1-1} = \eta_{е1-2}$ [1]. Соответственно при СПД $\pi_{к\Sigmaопт\pi_{св1-1}}^*$ достигает максимума степень двухконтурности ТРДД сложного цикла $m_{1-2опт}$, оптимальная по удельной тяге и удельному расходу топлива, а оптимальная степень двухконтурности ТРДД простого цикла $m_{1-1опт}$ непрерывно уменьшается, так как также уменьшается свободная энергия внутреннего контура ТРДД простого цикла $\bar{L}_{св1-1}$.

Введение промежуточного подогрева в цикл ТРДД с большой степенью двухконтурности при СПД $\pi_{к\Sigmaопт\pi_{св1-1}}^*$ приводит к уменьшению диаметрального размера внутреннего контура и удельного веса двигателя, и посредством этого к улучшению летно-технических характеристик самолета, также как уменьшение удельного расхода топлива двигателя.

Параметры ТРДДФСм простого и сложного цикла, который на больших сверхзвуковых скоростях полета может использоваться как турбопрямоточный двигатель (ТПД), сравниваются при СПД $\pi_{к\Sigmaопт1-2}^*$ ($e_{к\Sigmaопт1-2}$):

$$e_{к\Sigmaопт1-2} = (2\theta_{г}\eta_{к\Sigma}\eta_{т1} + 1)/3,$$

при которой, как видно из рис. 2, обеспечивается абсолютный максимум параметра $\pi_{св1-2абсmax}^*$ и свободной энергии внутреннего контура двигателя сложного цикла $L_{св1-2абсmax}$ и при одинаковой степени повышения давления вентилятора в сравниваемых двигателях $\pi_{в1-1}^* = \pi_{в1-2}^*$ степень двухконтурности двигателя сложного цикла на прямоточных режимах работы увеличивается до значения $m_{1-2} = 2$ при приемлемой экономичности [2].

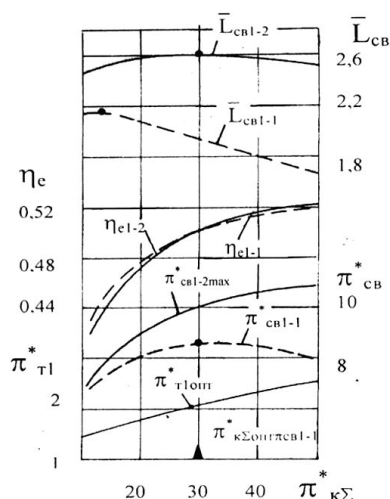


Рис. 1 – Зависимость параметров внутреннего контура ТРДД простого и сложного цикла от степени повышения давления в компрессоре на крейсерском режиме работы ($H = 11$ км; $M = 0,8$; $\pi_v = 1,494$; $\pi_v^* = 1,75$; $T_r^* = T_{r1}^* = T_{r2}^* = 1400$ К:
 • -максимум; - - ТРДД простого цикла;
 — ТРДД сложного цикла

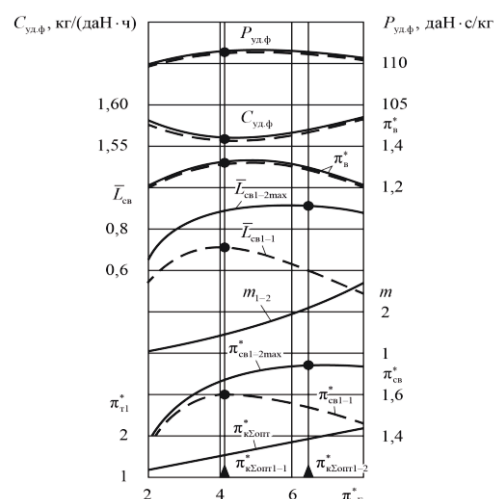


Рис. 2 – Зависимость параметров ТРДДФсм простого и сложного цикла от степени повышения давления на расчетном режиме работы $H=18 \dots 20$ км; $M=2,8$; $T_{r1}^* = T_{r2}^* = 1500$ К; $T_{\phi}^* = 2000$ К:
 - - - ТРДДФсм простого цикла при $m_{1-1} = 0$;
 — ТРДДФсм сложного цикла; • – максимум

Введение промежуточного подогрева в цикл ТРДДФсм для увеличения расхода воздуха через наружный контур и тяги на прямооточных режимах работы наиболее эффективно при СПД $\pi_{\text{к}\Sigma\text{опт}1-2}^*$ и малой степени двухконтурности на взлетном режиме работы, характерной для двигателей современных сверхзвуковых самолетов.

Список литературы

1. Иванов В.А. Выбор оптимальной степени повышения давления и принципа проектирования ГТУ сложного цикла // Известия РАН. Энергетика. 2016. №1. С. 106-114.
2. Иванов В. А. Эффективность введения промежуточного подогрева в цикл турбопрямоточного двигателя // Вестник УГАТУ. 2021. № 1 (91). С. 33-40.

Сведения об авторах

Иванов Вадим Александрович, канд. техн. наук, инженер. Область научных интересов: исследование сложных циклов ГТУ.

Бушуев Алексей Александрович, начальник бригады пусковых систем. Область научных интересов: неустановившиеся режимы работы газотурбинных двигателей.

THE EFFICIENCE OF INTRODUCTION OF INTERMEDIATE OF HEATING IN CYCLE OF TURBOFAN AND AFTERBURNING TURBOFAN

Ivanov V.A., Busuev A.A.

«Aviadvigatel» Public Corporation, Perm, Russia, iva-perm@rambler.ru

Keywords: simple cycle, complex cycle, intermediate heating.

It is shown that in bypass turbofan with big of degree of double – circuit and afterburning turbofan of engines for efficient use of intermediate of heating for reason of reduction of diametrical sizes of internal circuit at conservation of degree of increasing of pressure of fan and of diametrical sizes of external circuit necessary to use as criterion of efficiency maximum of degree of reduction of pressure in of internal circuit after of turbines of compressor , but degree of increasing of pressure in cycle to increase before ensuring of maximum of free energy of internal circuit of engines.