

УДК 621.452.32

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГТУ СЛОЖНОГО ЦИКЛА С РАЗНЫМ ПОДОГРЕВОМ В СТУПЕНЯХ И ОТБОРОМ ВОЗДУХА НА ОХЛАЖДЕНИЕ МЕЖТУРБИННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

В.А. ИВАНОВ¹

¹iva-perm@rambler.ru

АО «ОДК-Авиадвигатель» г. Пермь

Поступила в редакцию 22.05.2023

Аннотация. Рассмотрен выбор параметров ГТУ сложного цикла с двухступенчатым подогревом и отбором воздуха из компрессора на охлаждение межтурбинной камеры сгорания с использованием как критерия эффективности равенства эффективных КПД простого и сложного цикла при зависимости КПД простого цикла от степени подогрева во второй ступени. Понижение КПД сложного цикла в результате отбора охлаждающего воздуха из компрессора при зависимости КПД простого цикла от степени подогрева во второй ступени компенсируется за счет повышения степени подогрева в этой ступени по сравнению с первой ступенью, при котором увеличивается КПД простого и сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха. В результате увеличивается также КПД сложного цикла с отбором достаточного количества охлаждающего воздуха до обеспечения его равенства КПД сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха при уменьшенной одинаковой степени подогрева в ступенях, соответствующей первой ступени, и зависящей от нее экономической степени повышения давления.

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

ВВЕДЕНИЕ

В статье рассматриваются сложные циклы газотурбинной установки (ГТУ) с промежуточным подогревом при использовании как критерия эффективности условия равенства эффективных КПД простых и сложных циклов, при котором обеспечивается максимальное увеличение работы сложного цикла по сравнению с работой простого цикла при других допустимых по экономичности условиях, когда КПД сложного цикла больше КПД простого цикла [1].

Как показано в работе [1], при условии равенства эффективных КПД простого (цикл 1-1) и сложного цикла с промежуточным подогревом (цикл 1-2) $\eta_{e1-1} = \eta_{e1-2}$ и одинаковой степени повышения температуры (степени подогрева) в первой и второй ступенях $\theta_1 = \theta_2$ максимум удельной работы и эффективного КПД сложного цикла достигается при одинаковой степени повышения давления (СПД), оптимальной по эффективному КПД (экономической) для простого цикла. Такая закономерность сложного цикла с промежуточным подогревом (далее просто сложного цикла) является принципиальным отличием от простого цикла, в котором при экономической СПД удельная работа уменьшается с большим градиентом. Тогда далее сложные циклы для увеличения их удельной работы рассматриваются при экономической СПД, одинаковой для простого и сложного цикла.

В работе [2] показано, что указанная закономерность обеспечения максимальных удельных параметров сложного цикла сохраняется при разной степени подогрева газа в первой и

второй ступенях сложного цикла $\theta_1 \neq \theta_2$ и нахождении КПД простого цикла в зависимости от параметра θ_2 при экономической СПД, зависящей также от параметра θ_2 .

В статье рассматривается обеспечение экономичности ГТУ сложного цикла при отборе из компрессора достаточного количества воздуха для охлаждения межтурбинной камеры сгорания (КС2). В частности, рассматривается влияние отбора охлаждающего воздуха на понижение эффективного КПД сложного цикла и возможность сохранения этого КПД за счет повышения температуры газа во второй ступени сложного цикла по сравнению с первой ступенью $\theta_2 > \theta_1$.

Показано, что при $\theta_2 > \theta_1$, условия равенства эффективных КПД простого и сложного цикла $\eta_{e1-1} = \eta_{e1-2}$ и выборе в этом равенстве зависимости КПД простого цикла $\eta_{e1-1} = f(\theta_2)$ соответственно повышению параметра θ_2 обеспечивается повышение КПД сложного цикла η_{e1-2} без отбора охлаждающего воздуха, т.е. увеличивается эффективность введения промежуточного подогрева. В результате достигается равенство КПД сложного цикла с отбором охлаждающего воздуха при $\theta_2 > \theta_1$ и сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха при более низкой одинаковой степени подогрева в ступенях $\theta_1 = \theta_2$, соответствующей степени подогрева в простом цикле.

Повышение степени подогрева во второй ступени сложного цикла $\theta_2 > \theta_1$ при обеспечении равенства $\eta_{e1-1} = \eta_{e1-2}$ теоретически допустимо, так как является дополнительной возможностью по сравнению с простым циклом повысить КПД сложного цикла при отборе охлаждающего воздуха до его равенства КПД простого цикла.

Заметим, что в сложном цикле рассматриваемое повышение степени подогрева во второй ступени θ_2 будет обеспечено при более низкой температуре отбираемого на охлаждение воздуха из середины компрессора по сравнению с отбором воздуха за компрессором, при котором обеспечивается более низкая степень подогрева в первой ступени θ_1 .

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

В сложном цикле ГТУ без охлаждения КС2 с одинаковой степенью подогрева в ступенях $\theta_1 = \theta_2$ при условии равенства эффективных КПД простого и сложного цикла $\eta_{e1-1} = \eta_{e1-2}$ первоначально с выбором зависимости $\eta_{e1-1} = f(\theta_2)$ обеспечить сохранение эффективного КПД сложного цикла при отборе из компрессора достаточного количества воздуха для охлаждения КС2 за счет увеличения степени подогрева во второй ступени по сравнению с первой ступенью $\theta_2 > \theta_1$ и выбора зависимости $\eta_{e1-1} = f(\theta_2)$.

МЕТОДИКА НАХОЖДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОГО ЦИКЛА С ОТБОРОМ ВОЗДУХА ИЗ КОМПРЕССОРА НА ОХЛАЖДЕНИЕ КС2

На рис. 1 показана схема ГТУ сложного цикла с промежуточным подогревом и отбором воздуха из компрессора на охлаждение межтурбинной камеры сгорания (КС2).

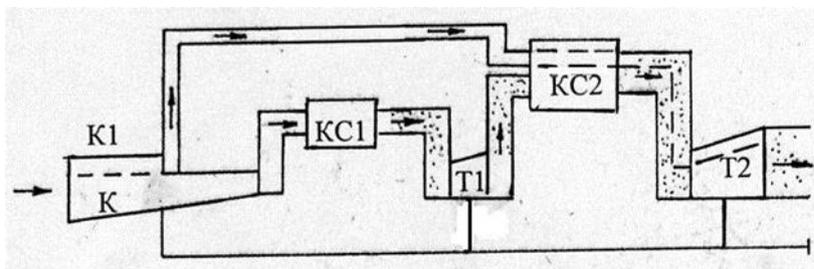


Рис. 1. Схема ГТУ сложного цикла с промежуточным подогревом и отбором воздуха из компрессора на охлаждение межтурбинной камеры сгорания.

Введем обозначения: k – компрессор; $к.с.$ – камера сгорания; t – турбина; a – окружающая атмосфера; $г$ – газ; $в$ – воздух; k – показатель адиабаты (принято $k = k_{г} = k_{в} = 1,4$); p, T – полное давление и температура заторможенного потока; $\theta = T_1/T_a$ – степень повышения температуры в простом и сложном цикле при $T_a = 288$ К; $\pi_k = p_k/p_a$ – степень повышения давления (СПД) в

цикле; $\pi_{k1} = p_{k1}/p_a$ – степень повышения давления в первой ступени сложного цикла (до места отбора воздуха из компрессора); $\pi_{T1} = p_k/p_{T1}$ – степень понижения давления в первой ступени сложного цикла (в первой турбине); $\pi_{T2} = p_{T1}/p_a$ – степень понижения давления во второй ступени сложного цикла (во второй турбине); $e_k = \pi_k^{(k-1)/k}$; $e_{k1} = \pi_{k1}^{(k-1)/k}$; $e_{T1} = \pi_{T1}^{(k-1)/k}$; $e_{T2} = \pi_{T2}^{(k-1)/k}$; L – удельная работа цикла; Q – удельное количество подведенной теплоты; η – коэффициент полезного действия (КПД) цикла и процессов сжатия (расширения) в ступенях цикла; опт – оптимальный; е – эффективный; Σ – общий; 1-1 – простой цикл с одним охлаждением и одним подогревом; цикл 1-2 – сложный цикл с одним охлаждением и двумя подогревами.

Для простоты циклы ГТУ рассмотрим, как действительные циклы с идеальным газом, газовая постоянная и показатель адиабаты которого остаются неизменными. В первом приближении не учитывались также потери полного давления по тракту двигателей.

Равенство КПД простого и сложного цикла $\eta_{e1-1} = \eta_{e1-2}$ при одинаковой степени подогрева в ступенях $\theta_1 = \theta_2$ и зависимости КПД простого цикла $\eta_{e1-1} = f(\theta_1)$ обеспечим за счет нахождения степени понижения давления в первой ступени (первой турбине) сложного цикла по формуле [1]:

$$e_{T1_{равн\eta e}} = \frac{\eta_{T1}}{\eta_{T2}} e(1 - \eta_{e1-1}) \quad (1)$$

Равенство $\eta_{e1-1} = \eta_{e1-2}$ при разной степени подогрева в ступенях $\theta_2 > \theta_1$ и зависимости КПД простого цикла $\eta_{e1-1} = f(\theta_2)$ обеспечим за счет нахождения степени понижения давления в первой турбине сложного цикла по формуле [2]:

$$e_{T1_{равн\eta e}} = \frac{\theta_1 \eta_{T1}}{\theta_2 \eta_{T2}} e(1 - \eta_{e1-1}) \quad (2)$$

Как видно из формулы (2), увеличение параметра θ_2 по сравнению с θ_1 приводит к уменьшению степени понижения давления газа в первой турбине $\pi_{T1}(e_{T1})$ пропорционально уменьшению отношения θ_1/θ_2 и соответственно увеличению степени понижения давления газа во второй турбине $\pi_{T2} = \pi/\pi_{T1}$ ($e_{T2} = e/e_{T1}$), а также к увеличению степени повышения давления в месте отбора охлаждающего воздуха $\pi_{k1}(e_{k1})$, так как для простоты принято, что место отбора охлаждающего воздуха соответствует равенству давлений охлаждающего воздуха и газа за первой турбиной (без учета гидравлических потерь в трубопроводах), т.е. равенству $\pi_{k1} = \pi_{T2}$ ($e_{k1} = e_{T2}$).

Экономическую СПД $\pi_{k,опт}(e_{k,опт})$, одинаковую в простом и сложном цикле, найдем по известной формуле для простого цикла [3] в функции параметра $\theta = \theta_1$ или $\theta = \theta_2$.

$$e_{k,опт\eta e1-1} = \frac{\theta \eta_T - \sqrt{\theta^2 \eta_T^2 - \theta \eta_T (\theta \eta_T + 1 - \theta) (\theta \eta_k + 1 - \eta_k)}}{\theta \eta_T + 1 - \theta} \quad (3)$$

Для простоты удельные параметры сложного цикла с расширением во второй ступени охлаждающего КС2 воздуха и потока газа после их смешения найдем как сумму удельных параметров соответственно простого цикла для охлаждающего воздуха и сложного цикла для потока газа с отдельным расширением этих потоков во второй ступени без смешения.

Такой подход позволяет использовать следующие известные формулы удельных параметров простого и сложного циклов без их усложнения.

Эффективный КПД простого цикла для охлаждающего воздуха с СПД π_{k1} , степенью подогрева θ_2 и постоянной теплоемкостью газа во всех процессах найдем по известной формуле [3]:

$$\eta_{e1-1} = \frac{\bar{L}_{e1-1}}{\bar{Q}_{1-1}} = \frac{[(e_{k1} - 1)/\eta_{k1}] [\theta_2 \eta_{k1} \eta_{T2}/e_{k1}] - 1}{\theta_2 - (e_{k1} - 1)/\eta_{k1} - 1}$$

Эффективный КПД сложного цикла с одинаковой $\theta_1 = \theta_2$ и разной $\theta_1 > \theta_2$ степенью подогрева в ступенях найдем по формуле [2]:

$$\eta_{e1-2} = \frac{\bar{L}_{e1-2}}{\bar{Q}_{1-2}} = \frac{\theta_1(1 - 1/e_{m1})\eta_{m1} + \theta_2(1 - 1/e_{m2})\eta_{m2} - (e_k - 1)/\eta_k}{[\theta_2 - (e_k - 1)/\eta_k - 1] + \theta_1(1 - 1/e_{m1})\eta_{m1}}$$

Здесь $L_e = L_e/(C_p T_a)$ – относительная эффективная удельная работа цикла (отнесенная к произведению теплоемкости на температуру атмосферного воздуха), $Q = Q/(C_p T_a)$ – относительная удельная теплота, подведенная в цикле.

Эффективный КПД сложного цикла с отбором воздуха на охлаждение КС2 $\eta_{e1-2}^{отб}$ найдем как сумму эффективных КПД простого цикла η_{e1-1} для охлаждающего воздуха и сложного цикла с промежуточным подогревом η_{e1-2} для потока газа:

$$\eta_{e1-2}^{отб} = \eta_{e1-1} n + \eta_{e1-2} (1 - n) \quad (4)$$

где $n = G_{в.отб}/G_{в.}$ – коэффициент отбора охлаждающего воздуха (отношение расхода отбираемого на охлаждение КС2 воздуха $G_{в.отб}$ к расходу воздуха на входе в компрессор $G_{в.}$).

Также найдем и удельную эффективную работу (далее просто работу) сложного цикла с отбором воздуха на охлаждение КС2:

$$\overline{L_{e1-2}^{отб}} = \overline{L_{e1-1}} n + \overline{L_{e1-2}} (1 - n)$$

Цель работы – обеспечение равенства эффективных КПД сложного цикла с одинаковой степенью подогрева в ступенях $\theta_1 = \theta_2$ без отбора охлаждающего воздуха и с увеличенной степенью подогрева во второй ступени $\theta_2 > \theta_1$ и отбором достаточного количества воздуха для охлаждения КС2

$$\eta_{e1-2}^{f(\theta_1)} = \eta_{e1-2}^{отб f(\theta_2)}$$

с учетом формулы (4) запишем как

$$\eta_{e1-2}^{f(\theta_1)} = \eta_{e1-1}^{f(\theta_2)} n + \eta_{e1-2}^{f(\theta_2)} (1 - n)$$

Преобразуя последнее равенство получим формулу коэффициента n , при котором это равенство обеспечивается при заданных параметрах θ_1 и θ_2 ,

$$n = \frac{\eta_{e1-2}^{f(\theta_2)} - \eta_{e1-2}^{f(\theta_1)}}{\eta_{e1-2}^{f(\theta_2)} - \eta_{e1-1}^{f(\theta_2)}} \quad (5)$$

где КПД $\eta_{e1-2}^{f(\theta_1)}$ и $\eta_{e1-2}^{f(\theta_2)}$ являются функцией параметров θ_1 и θ_2 в сложном цикле цикла без отбора охлаждающего воздуха, а КПД $\eta_{e1-1}^{f(\theta_2)}$ является функцией параметре θ_2 в простом цикле для охлаждающего воздуха.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 2 показана зависимость увеличения коэффициента отбора охлаждающего воздуха n от повышения степени подогрева во второй ступени θ_2 по сравнению с первой ступенью $\theta_1 = 5,2$ с обеспечением равенства КПД сложного цикла с отбором и без отбора охлаждающего воздуха $\eta_{e1-2}^{f(\theta_1)} = \eta_{e1-2}^{отб f(\theta_2)}$. Зависимость получена при экономической СПД $\pi_{к.онм1}^{f(\theta_1)}$ для двигателя простого цикла, при которой обеспечивается также максимум КПД и удельной работы двигателя сложного цикла и которая в связи с этим принята оптимальной для определения влияния отбора охлаждающего воздуха из компрессора на параметры этих двигателей

Как показано на рис. 2, при повышении параметра $\theta_2 > \theta_1$ увеличивается КПД сложного цикла η_{e1-2} без отбора охлаждающего воздуха, а также, как видно из формулы (2), уменьшается отношение θ_1/θ_2 и параметр $\pi_{т1}(e_{т1})$. Соответственно увеличивается параметр $\pi_{т2}(e_{т2})$, СПД $\pi_{к1}$ и эффективный КПД η_{e1-1} простого цикла для охлаждающего воздуха. В результате увеличения КПД η_{e1-1} и η_{e1-2} при повышении параметра θ_2 становится возможным увеличение коэффициента отбора охлаждающего воздуха n до обеспечения равенства КПД сложного цикла с отбором охлаждающего воздуха и максимума КПД сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха $\eta_{e1-2}^{отб} = \eta_{e1-2max}$.

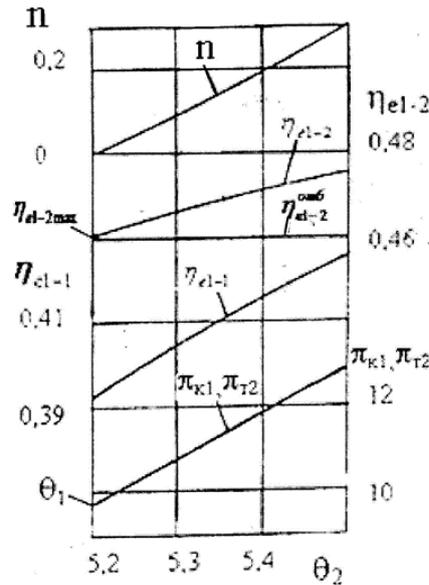


Рис. 2. Зависимость коэффициента отбора охлаждающего воздуха n , обеспечивающего равенство КПД двигателей сложного цикла с отбором и без отбора охлаждающего воздуха, и зависимость других параметров этих двигателей от повышения степени подогрева во второй ступени $\theta_2 > \theta_1$ при экономической степени повышения давления $\pi_{к.онм1}^{f(\theta_1)} = 34,3$, соответствующей степени подогрева в первой ступени $\theta_1 = 5,2$ ($\eta_{к1} = 0,87$; $\eta_{к} = 0,85$; $\eta_{\tau 1} = 0,91$; $\eta_{\tau 2} = \eta_{\tau} = 0,93$).

При увеличении степени подогрева во второй ступени до $\theta_2 = 5,5$ коэффициент отбора охлаждающего воздуха увеличивается до $n = 0,3$, т.е. соответствует 30 % расхода охлаждающего воздуха от общего расхода воздуха через компрессор и по существующей статистике является достаточным для охлаждения КС2 [3].

Таким образом, при повышении параметра θ_2 по сравнению с параметром θ_1 обеспечивается возможность увеличения коэффициента отбора охлаждающего воздуха n при обеспечении равенства КПД сложного цикла с отбором и без отбора охлаждающего воздуха $\eta_{e1-2}^{f(\theta_1)} = \eta_{e1-2}^{омб(\theta_2)}$.

На рис. 3 поясняется показанное на рис. 2 обеспечение равенства КПД сложных циклов без отбора и с отбором воздуха для охлаждения КС2 при одинаковой экономической СПД $\pi_{к.онм1}^{f(\theta_1)} = 34,3$, соответствующей параметру θ_1 . Для этого показана зависимость от СПД параметров сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха и с коэффициентом отбора охлаждающего воздуха $n = 0,3$ при $\theta_1 = \theta_2 = 5,2$ и $\theta_1 = 5,2$, $\theta_2 = 5,5$.

Как видно из рис. 3, при увеличении степени подогрева во второй ступени от $\theta_1 = 5,2$ ($T_{\tau} = 1500 K$) до $\theta_2 = 5,5$ ($T_{\tau} = 1585 K$) соответственно увеличивается экономическая СПД от $\pi_{к.онм1}^{f(\theta_1)} = 34,3$ до $\pi_{к.онм2}^{f(\theta_2)} = 39,9$ и максимум КПД сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха от $\eta_{e1-2}^{f(\theta_1)}$ до $\eta_{e1-2}^{f(\theta_2)}$, а в результате уменьшения степени понижения давления в первой ступени от $\pi_{\tau 1}^{f(\theta_1)}$ до $\pi_{\tau 1}^{f(\theta_2)}$ обеспечивается увеличение до максимума параметров $\pi_{к1}$ и η_{e1-1} простого цикла для охлаждающего воздуха при степени подогрева во второй ступени $\theta_2 = 5,5$.

Тогда при экономической СПД $\pi_{к.онм2}^{f(\theta_2)}$ достигает максимума также КПД сложного цикла с отбором охлаждающего воздуха $\eta_{e1-2}^{омб(\theta_2)}$, а при уменьшении экономической СПД до $\pi_{к.онм1}^{f(\theta_1)}$ КПД этого сложного цикла также понижается до обеспечения его равенства максимуму КПД сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха с уменьшенной степенью подогрева во второй ступени $\theta_2 = \theta_1 = 5,2$ $\eta_{e1-2}^{омб(\theta_2)} = \eta_{e1-2}^{f(\theta_1)}$.

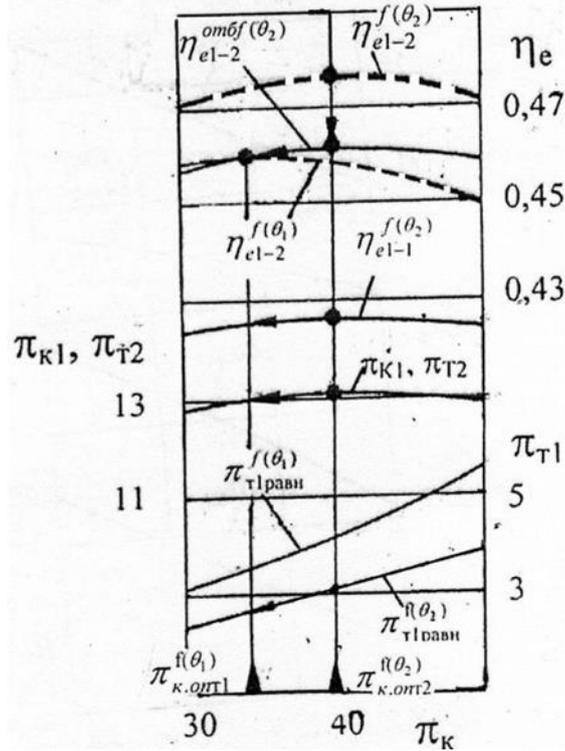


Рис. 3. Зависимость параметров сложного цикла без отбора () и с коэффициентом отбора охлаждающего воздуха $n = 0,3$ () от СПД при одинаковой $\theta_1 = \theta_1 = 5,2$ и разной $\theta_1 = 5,2, \theta_2 = 5,5$ степени подогрева в ступенях (условия указаны на рис. 2): изменение параметров сложного цикла с отбором охлаждающего воздуха при уменьшении степени подогрева во второй ступени от $\theta_2 = 5,5$ до $\theta_2 = 5,2$ и экономической СПД от $\pi_{к.онт2}^{f(\theta_2)}$ до $\pi_{к.онт1}^{f(\theta_1)}$; • – максимум параметров.

Тогда при экономической СПД $\pi_{к.онт2}^{f(\theta_2)}$ достигает максимума также КПД сложного цикла с отбором охлаждающего воздуха $\eta_{1-2}^{отбf(\theta_2)}$, а при уменьшении экономической СПД до $\pi_{к.онт1}^{f(\theta_1)}$ КПД этого сложного цикла также понижается до обеспечения его равенства максимуму КПД сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха с уменьшенной степенью подогрева во второй ступени $\theta_2 = \theta_1 = 5,2$ $\eta_{1-2}^{отбf(\theta_2)} = \eta_{1-2max}^{f(\theta_1)}$.

Как показал также расчетный анализ, при повышении параметра $\theta_2 > \theta_1$ увеличивается работа сложного цикла $L_{e1-2}^{f(\theta_2)}$, которая, уменьшаясь при отборе охлаждающего воздуха, остается практически равной максимальной работе сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха $L_{e1-2}^{отбf(\theta_2)} = L_{e1-2max}^{f(\theta_1)}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В сложном цикле с разной степенью подогрева в ступенях $\theta_1 \neq \theta_2$ и использованием как критерия эффективности равенства эффективных КПД простого и сложного цикла $\eta_{e1-1} = \eta_{e1-2}$ при зависимости КПД простого цикла $\eta_{e1-1} = f(\theta_2)$ и увеличении степени подогрева во второй ступени по сравнению с первой $\theta_2 > \theta_1$ обеспечивается повышение КПД простого и сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха $\eta_{e1-2}^{f(\theta_2)}$ до максимума при увеличении СПД до экономической $\pi_{к.онт2}^{f(\theta_2)}$.

2. При повышении КПД сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха $\eta_{e1-2}^{f(\theta_2)}$ по п. 1 до максимума при увеличении степени подогрева во второй ступени $\theta_2 > \theta_1$ появляется возможность соответственно увеличивать коэффициент отбора охлаждающего воздуха $n =$

$G_{в.отб}/G_{в}$ до необходимой для охлаждения КС2 величины $n = 0,3$, при которой происходит понижение КПД этого сложного цикла $\eta_{el-2}^{отб(\theta_2)}$ до его равенства максимуму КПД сложного цикла без отбора охлаждающего воздуха $\eta_{el-2}^{f(\theta_1)}$ с уменьшенной степенью подогрева в ступенях до равенства $\theta_2 = \theta_1$ и соответственно уменьшенной экономической СПД $\pi_{к.онм1}^{f(\theta_1)}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иванов В.А.** Путь увеличения эффективности цикла газотурбинных установок // Вестник СГАУ. 2009. № 3 (19). С. 102–108. [V.A. Ivanov, Way of increase in efficiency of cycle gas turbine units, (in Russian), Vestnik SSAU, no. 3 (19), pp. 102–108, 2009.]
2. **Иванов В.А.** Эффективность сложных циклов ГТУ с разной степенью подогрева в первой и второй ступенях // Вестник СГАУ. 2014. № 5(47). Ч. 4. С. 78–83. [V.A. Ivanov, Efficiency of complex cycles gas turbine units with varying degrees of heating in the first and second stages, (in Russian), Vestnik SSAU, no. 5(47), part 4, pp. 78–83, 2014.]
3. **Бакулев В.И. и др.** Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. М.: МАИ, 2003. 682 с. [V.I. Bakulev et al., Theory, Calculation and Design of Aircraft Engines and Power Plants, (in Russian). Moscow: MAI, 2003. 682p.]

ОБ АВТОРАХ

ИВАНОВ Вадим Александрович, инженер-конструктор 1 категории АО «ОДК-Авиадвигатель». Дипл. инж.-механ. по авиац. двиг. (ППИ, 1967), канд. техн. наук. по тепл. двиг. (КГТУ, 1996). Иссл. сложных циклов ГТУ.

METADATA

Title: Ensuring the efficiency of a gas turbine plant of a complex cycle with different heating in stages and air bleed for the cooling of the second combustion chamber.

Authors: V.A. Ivanov¹

Affiliation:

JSC “UEC-Aviadvigatel”, Russia.

Email: ¹iva-perm@rambler.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), vol. 27, no. 4 (102), pp. 13-19, 2023. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The choice of the parameters of a gas turbine plant of a complex cycle with two-stage heating and compressor air bleed for the cooling of the second combustion chamber is considered using as an efficiency criterion the equality of the effective efficiencies of a simple and complex cycle with the dependence of the efficiency of a simple cycle on the degree of heating in the second stage. The decrease in the efficiency of a complex cycle as a result of the compressor cooling-air bleed with the dependence of the efficiency of a simple cycle on the degree of heating in the second stage is compensated due to an increase in the degree of heating in this stage compared to the first stage, at which the efficiency of a simple and complex cycle without cooling-air bleed increases. As a result, the efficiency of a complex cycle with the bleed of a sufficient amount of cooling air also increases until it is equal to the efficiency of a complex cycle without cooling-air bleed with the decreased equal degree of heating in stages corresponding to the first stage and the economic degree of pressure increase dependent thereon.

Key words: simple cycle, complex cycle, intermediate heating, effective efficiency

About authors:

IVANOV, Vadim Aleksandrovich, 1st category design engineer at JSC “UEC-Aviadvigatel”. Dipl. mechanical engineer for aircraft engines (PPI, 1967), Cand. of Tech. Sci. (KSTU, 1996). Studies on the complex cycles of gas turbine plants.