УДК 621.431.75

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННОГО ОТБОРА И ПОДВОДА ОХЛАЖДАЮЩЕГО ВОЗДУХА В ГТД

©2009 А. И. Горюнов, И. М. Горюнов

Уфимский государственный авиационный технический университет

Рассмотрены математические модели ГТД с учётом распределённого отбора воздуха из компрессора и распределённого подвода охлаждающего воздуха в турбине.

Математическая модель, ГТД, компрессор, турбина, отбор воздуха, подвод воздуха

Каждый год ужесточаются требования к разрабатываемым двигателям. Для сохранения конкурентоспособности и спроса на изделия разработчики применяют в проектировании новейшие методики и программные пакеты, повышают рабочие температуры, используя системы охлаждения лопаток турбин. Основным способом охлаждения является охлаждение воздухом.

Современные авиационные ГТД (АЛ-31Ф, РД-33, АЛ-55И, ПС-90А, SM-146 и др.) отличаются все более сложными системами отбора и подвода рабочего тела. Например, отбор воздуха осуществляется между ступенями компрессора.

В большинстве математических моделей авиационных ГТД принято допущение, что отбор воздуха происходит за компрессором, что увеличивает потребную мощность компрессора и соответственно вносится погрешность в термогазодинамические расчеты.

Рассмотрим математическую модель компрессора с учетом распределенного отбора воздуха.

Принимаем допущение, что параметры рабочего тела и работа компрессора до соответствующего отбора определяются по модели политропного процесса сжатия.

Давление и температура воздуха в отборе определяются по заданным значениям относительной адиабатической работы компрессора до *i*-го отбора (рис. 1). Механические и гидравлические потери учитываются в расчёте требуемой работы компрессора ($L_к^*$).

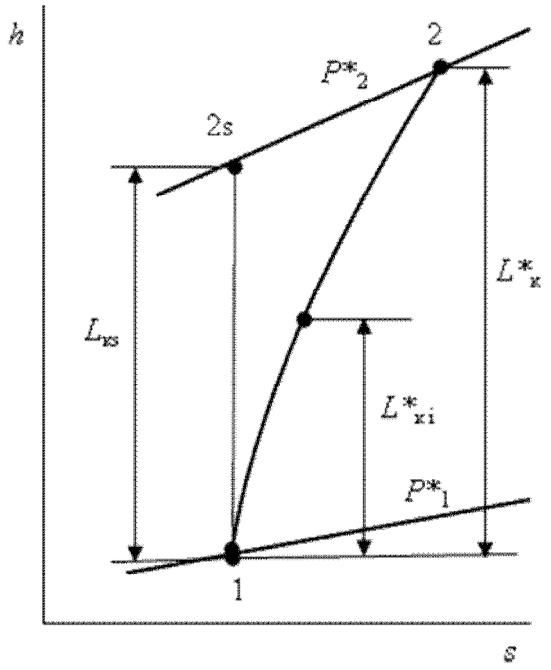

Рис. 1. Диаграмма процесса сжатия рабочего тела в многоступенчатом осевом компрессоре

Потребная мощность компрессора является суммой произведений расхода воздуха на выходе из компрессора на работу сжатия и количества отбираемого воздуха на работу соответствующей ступени:

$$N_к = G_2 \cdot L_к^* + \sum_{i=1}^{n}\left(G_{отб.\,i} \cdot L_{к\,i}^*\right). \qquad (1)$$

Расход отбираемого воздуха есть произведение расхода воздуха на входе в компрессор (G_1) и заданного относительного расхода отбираемого воздуха ($\overline{G}_{отб.\,i}$):

$$G_{отб.\,i} = G_1 \overline{G}_{отб.\,i}. \qquad (2)$$

Расход воздуха на выходе из компрессора представляет собой разность расходов на входе и в отборах:

$$G_2 = G_1 - \sum_{i=1}^{n} G_{\text{отб. i}} \,. \qquad (3)$$

Учет влияния распределенного отбора воздуха на характеристику компрессора достигается коррекцией характеристик с использованием поправочных множителей к соответствующим координатам $\pi_к^*$, $\eta_к^*$ от приведенного расхода воздуха в отборе $G_{\text{отб.i пр}}$:

$$\delta\pi_{\text{к}}^* = f\left(G_{\text{отб.i пр}}\right), \qquad (4)$$

$$\delta\eta_{\text{к}}^* = f\left(G_{\text{отб.i пр}}\right). \qquad (5)$$

Конкретные способы забора воздуха и места на двигателе определяются в зависимости от нужд и возможностей размещения магистралей.

Для повышения эффективности охлаждения, а тем самым снижения количества отбираемого воздуха, применяют теплообменники различного типа. Проходя через них, воздух охлаждается в среднем на 300 - 400 К.

Современные высокотемпературные турбины авиационных ГТД отличаются сложными системами подвода охлаждающего воздуха. Охлаждающий воздух подводится для охлаждения сопловых и рабочих лопаток, диска рабочего колеса. Выпуск охлаждающего воздуха в газовоздушный тракт из систем охлаждения осуществляется через отверстия в передних и задних кромках сопловых и рабочих лопаток, а также в радиальный зазор между рабочими лопатками и корпусом. Воздух, охлаждающий диск рабочего колеса, выпускается в зазор между сопловыми и рабочими лопатками (рис. 2).

В большинстве математических моделей авиационных ГТД принято допущение, что воздух, охлаждающий сопловые лопатки, подмешивается к основному газовому потоку до горла соплового аппарата, а воздух, охлаждающий рабочие лопатки подмешивается за рабочими лопатками. Воздух, охлаждающий сопловой аппарат, смешивается с газом и учитывается в работе турбины. Воздух, охлаждающий рабочее колесо, смешивается с основным потоком за ним и участвует в работе последующей ступени. В процессе смешения давление основного потока не изменяется. Многоступенчатая турбина рассматривается как одноступенчатая (рис. 3). В этом случае распределение расходов охлаждающего воздуха между сопловыми и рабочими лопатками не соответствует действительному и подбирается таким образом, чтобы обеспечить потребную мощность и известные параметры за турбиной. Такое допущение вносит погрешность в термогазодинамический расчет многоступенчатой турбины.

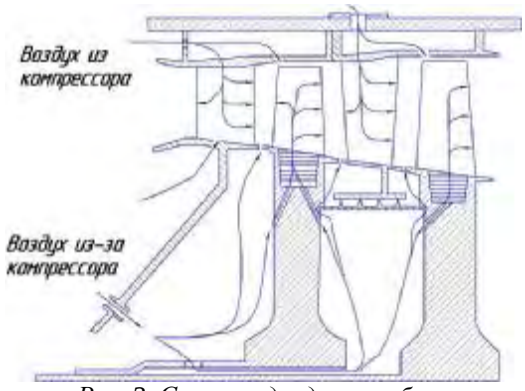

Рис. 2. Схема подвода в турбину охлаждающего воздуха

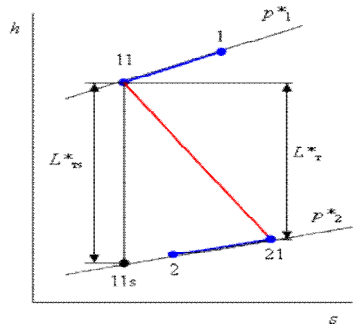

Рис. 3. Диаграмма процесса расширения в одноступенчатой турбине

В системе математического моделирования тепловых, энергетических и комбинированных установок DVIGwT возможно описание многоступенчатой турбины из элементов, описывающих каждую ступень. При этом должны быть известны характеристики отдельных ступеней турбины.

В связи с этим предложена математическая модель многоступенчатой турбины с учетом распределенного подвода охлаждающего воздуха. Рассматриваются изолированные процессы расширения газа, поступающего на вход в турбину, и охлаждающего воздуха до давления на выходе из турбины (рис. 4). При расчете турбины используется эффективный КПД охлаждаемой турбины $\left(\eta_{\text{т.эф}}^*\right)$, который является

отношением мощности $(N_т)$, развиваемой турбиной, к сумме изоэнтропических работ потоков газа $(L^*_{гs})$ и охлаждающего воздуха $(L^*_{в.охл.s\,i})$ в турбине, умноженным на соответствующие расходы газа $(G_г)$ и воздуха $(G_{в.охл.\,i})$:

$$\eta^*_{т.эф} = \frac{N_т}{G_г L^*_{гs} + \sum G_{в.охл.\,i} L^*_{.в.охл.s\,i}}. \qquad (6)$$

Энтальпия и соответственно температура рабочего тела на выходе из турбины рассчитываются на основе материального и теплового балансов.

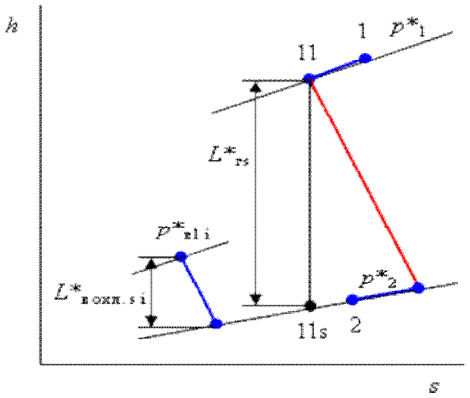

Рис. 4. Диаграмма процесса расширения в многоступенчатой турбине

Учёт распределённого отбора и подвода охлаждающего воздуха позволяет повысить адекватность математической модели ГТД.

SIMULATION OF THE DISTRIBUTED SELECTION AND SUPPLY OF COOLING AIR IN GAS-TURB ENGINE

©2009 A. I. Goryunov, I. M. Goryunov

Ufa State Aircraft Technical University

Mathematical models GAS-TURB ENGINE are considered in view of the distributed selection of air from the compressor and the distributed supply of cooling air in the turbine.

Mathematical model, GAS-TURB ENGINE, the compressor, the turbine, selection of air, air intake

Информация об авторах

Горюнов Алексей Иванович, студент Уфимского государственного авиационного технического университета. E-mail: ushovec@ya.ru. Область научных интересов: математическое моделирование авиационных двигателей и энергетических установок.

Горюнов Иван Михайлович, доктор технических наук, профессор Уфимского государственного авиационного технического университета. E-mail: gorjunov@mail.ru. Область научных интересов: математическое моделирование авиационных двигателей и энергетических установок

Goryunov Alexey Ivanovich, student of Ufa State Aircraft Technical University. E-mail: ushovec@ya.ru. Area of research: mathematical modelling of aviation engines and power installations.

Goryunov Ivan Mikhailovich, Doctor of Engineering Science, professor of Ufa State Aircraft Technical University. E-mail: gorjunov@mail.ru. Area of research: mathematical modelling of aviation engines and power installations.