

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК РАЗНЫХ ТИПОВ

Гончаренко С.А., Григорьев В.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В настоящее время все большее значение приобретают вопросы повышения эффективности вспомогательных силовых установок. Это связано с широким применением их на самолетах, а также с повышением требований к ним по экономичности, надежности и массе. Рассматривая современное состояние развития газотурбинных ВСУ следует отметить, что хотя за последнее время был достигнут значительный прогресс в развитии основных двигателей, на совершенствовании вспомогательных силовых установках это сказалось незначительно. Объясняется это следующими причинами:

- методы повышения эффективности больших двигателей не всегда можно применить для двигателей малой размерности, какими являются ВСУ;
- при проектировании ВСУ необходимо согласовывать параметры рабочего процесса с требуемыми параметрами отбираемого воздуха;
- совершенствование ВСУ не должно приводить к значительному усложнению их конструкции и увеличению стоимости [1].

В зависимости от применения газотурбинные вспомогательные силовые установки делятся на ВСУ с отбором механической энергии от выходного вала и ВСУ с отбором сжатого воздуха, которые обычно разрешают проводить одновременно и отбор механической энергии и называются универсальными. Газотурбинные ВСУ с отбором сжатого воздуха выполняются с общим компрессором или с дополнительным компрессором. Типичные схемы ВСУ различных типов представлено на рис. 1

В одновальной ВСУ с общим компрессором часть воздуха для потребителя отбирается за компрессором, остальной воздух после компрессора поступает в камеру сгорания. Таким образом, весь воздух сжимается в общем компрессоре. Частота вращения ротора турбокомпрессора при изменении расхода отбираемого воздуха обычно остается постоянным. Преимущества одновальной ВСУ с общим компрессором включают конструктивную простоту, хорошую приемистость, стабильность частоты вращения. Однако применение общего компрессора повышенной производительности усложняет пуск ВСУ. Кроме того, степень повыше-

ния давления в таком компрессоре определяется исключительно требованиями к параметрам отбираемого воздуха. Обычно степень повышения давления в компрессоре существенно меньше оптимальной по удельной мощности и по экономичности двигателя. В результате расход топлива и размеры ВСУ данной схемы сравнительно велики.



Рис.1 Схемы ВСУ

В одновальной ВСУ с дополнительным компрессором на входе в него установлены регулируемые поворотные лопатки входного направляющего аппарата (ВНА). Лопатки ВНА служат для уменьшения требуе-

мой на привод дополнительного компрессора мощности в процессе пуска двигателя путем прикрытия лопаток. Прикрытие лопаток также осуществляется если требуется отбор только механической энергии. В одновальной ВСУ с дополнительным компрессором степень повышения давления основного компрессора не связана с требуемыми параметрами отбираемого воздуха, поэтому она может быть выбранной оптимальной по удельной мощности или по экономичности двигателя. Однако применение дополнительного компрессора значительно усложняет конструкцию ВСУ и затрудняет пуск. Если дополнительный компрессор приводится от ротора газогенератора, то он получается неоптимальным по геометрическим соотношениям, так как он вращается с частотой основного компрессора, но рассчитаны они на разные расходы воздуха и степени повышения давления. Это обстоятельство и небольшой абсолютный расход воздуха приводит к снижению его КПД. Отмеченные недостатки ВСУ данной схемы объясняют причины редкого ее применения.

Двухвальные ВСУ с дополнительным компрессором обеспечивают:

- возможность одновременного отбора мощности и сжатого воздуха;
- возможность поддержания постоянных параметров отбираемого воздуха и отбираемой мощности, путем обеспечения постоянной частоты вращения свободной турбины;
- независимость параметров рабочего процесса газогенератора от параметров отбираемого воздуха, что позволяет иметь высокую экономичность на режиме максимального отбора;
- возможность создания ВСУ этой схемы на базе малоразмерных ТВаД или ТВД со свободной турбиной.

Однако такие ВСУ конструктивно сложнее одновальных ВСУ с дополнительным компрессором.

Для достижения высоких удельных параметров ВСУ с отбором механической энергии требуются большие значения степени повышения давления в компрессоре и высокая температура газа перед турбиной. Однако для получения высокой степени повышения давления необходим более сложный компрессор, а высокая температура газа перед турбиной требует охлаждаемых рабочих лопаток. Поэтому обеспечение высоких удельных параметров приводит к неизбежному усложнению двигателя и увеличению его массы и стоимости. Кроме того, реализация больших значений π_k и T_r^* из-за малых размеров лопаток последних ступеней компрессора и первых ступеней турбины затруднительна в малоразмерных

двигателях. Учитывая также отсутствие особых требований по экономичности, ВСУ с отбором механической энергии обычно имеет невысокие параметры рабочего процесса ($\pi_k=3.5-5.0$ и $T_r^*=1100-1250K$). Это позволяет создавать надежные и относительно дешевые ВСУ. Вместе с тем, при начальном проектировании ВСУ, когда имеется возможность реализовать оптимизацию рабочего процесса, просмотреть большое количество вариантов, учесть проектные и эксплуатационные ограничения, целесообразно осуществить эти проектные процедуры с непосредственной оценкой их последствий по критериям эффективности летательного аппарата.

Используя понятие эквивалентной мощности отбираемого воздуха, можно характеризовать рабочий процесс в ВСУ с отбором воздуха удельной эквивалентной воздушной мощностью $N_{уд.в}$ и удельным эквивалентным расходом топлива $C_{с.в}$. Из зависимостей $N_{уд.в}$ и $C_{с.в}$ от π_k и T_r^* для ВСУ с общим компрессором следует, что энергетически выгодно в ВСУ с отбором воздуха, как и в ВСУ с отбором механической энергии иметь высокие значения π_k и T_r^* . С другой стороны возможность их реализации ограничивается малоразмерностью, сложностью конструкции, параметрами отбираемого воздуха. В схеме с общим компрессором высокое значение π_k ведет к увеличению значений давления и температуры отбираемого воздуха. Такое увеличение параметров отбираемого воздуха практически недопустимо, так как очень сложно создать эффективные воздушные турбины привода потребителей на большие перепады давления, а применяемые теплоизоляции воздушных трубопроводов и уплотняющие материалы в клапанах и регулировочных устройствах накладывают ограничение на температуру отбираемого воздуха. В ВСУ с отбором воздуха за общим компрессором степень повышения давления для всего компрессора должна быть значительно ниже оптимальной по удельной мощности или минимальному расходу топлива и определяется только давлением отбираемого воздуха, а не условиями получения максимальной удельной мощности или минимального удельного расхода топлива.

Высокая температура газа в двигателе с отбором воздуха от общего компрессора позволяет увеличить $N_{уд.в}$, что при постоянном $\pi_k=\pi_{отб}$ позволяет получить заданный расход отбираемого воздуха при меньшем общем расходе воздуха через двигатель, что позволяет уменьшить ВСУ. При небольшой степени повышения давления увеличение T_r^* почти не повышает экономичность, а в ВСУ с отбором воздуха от общего компрессора может привести к снижению экономичности, в следствии смещении точки совместной работы компрессора и турбины в зону меньших π_k и

более низких КПД компрессора [2]. Хотя экономичность ВСУ с увеличением T_r^* не улучшается, рост относительного расхода воздуха ($G_{от} = G_{отб}/G_b$) столь значителен, что высокая T_r^* представляется целесообразной. Но в следствии снижения КПД компрессора, усложнения конструкции двигателя, повышения его стоимости в ВСУ с отбором воздуха за общим компрессором высокой температуры газа стараются избежать.

На режимах пуска двигателей экономичность ВСУ практического значения не имеет. Она имеет значение только на режимах длительной работы на большой мощности. В ВСУ с общим компрессором в следствии низкой степени повышения давления в компрессоре удельный эквивалентный расход топлива увеличивается. Однако экономичность системы в целом может даже улучшиться, так как для сжатия до меньшего давления требуемого количества отбираемого воздуха необходимо меньше энергии и, несмотря на увеличение удельного эквивалентного расхода топлива, часовой расход топлива G_r может не измениться или снизиться, а конструкция ВСУ при этом упроститься.

В ВСУ с дополнительным компрессором степень повышения давления в дополнительном компрессоре $\pi_{к, доп}$ определяется заданным значением давления отбираемого воздуха. Так как параметры рабочего процесса в такой ВСУ непосредственно не связаны с параметрами отбираемого воздуха их можно выбирать достаточно высокими. Это позволяет значительно снизить удельный расход топлива. При ограничении величины π_c требуется оптимизировать два параметра рабочего процесса, определяющих замкнутую систему уравнений проектного термодинамического расчета двигателя ($\pi_{к}$ и T_r^*), по критериям эффективности летательного аппарата.

Список литературы

1. Методические основы формирования программного комплекса расчета вспомогательных силовых установок // Технический отчет. - Самара: СГАУ, 1993. -39 с.
2. Авиационные газотурбинные вспомогательные силовые установки/ Поляков А.М., Шальман Ю.И. и др. - М. Машиностроение, 1978. - 197 с.
3. Маслов В.Г. Теория выбора оптимальных параметров при проектировании авиационных ГТД. - М. Машиностроение, 1981. - 123 с.