

УДК 621.438

В.Т. МАТВЕЕНКО, В.А. ОЧЕРЕТЯНЫЙ, А.Г. АНДРИЕЦ

Севастопольский национальный технический университет, Украина

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПОДОГРЕВОМ ГАЗА И ТУРБИНОЙ ПЕРЕРАСШИРЕНИЯ

Представлены результаты исследования характеристик циклов ГТД с промежуточным подогревом газа и турбиной перерасширения. Показано, что подогрев газа между турбинами газогенератора увеличивает удельную мощность ГТД более, чем в 1,4 раза, а применение турбины перерасширения повышает эффективный КПД.

газотурбинный двигатель, газогенератор, промежуточный подогрев газа, турбина перерасширения

Введение

Газотурбинные двигатели (ГТД) простого цикла, так и некоторые типы ГТД сложного цикла могут быть использованы для создания энергетических установок когенерационного типа, поскольку в этих двигателях выхлопные газы обладают достаточным запасом внутренней энергии, причем на высоком температурном уровне, которую есть возможность полезно использовать, превратив часть ее в механическую работу.

Таким способом утилизации теплоты выхлопных газов в ГТД является применение турбины перерасширения (ТП), которая совместно с дожимающим компрессором и охладителем газа образуют турбокомпрессорный утилизатор. Исследования [1] показали, что эффективный КПД ГТД с ТП выше, чем в двигателе простого цикла. Относительный рост КПД составляет 10...25 %. Установлено, что оптимальные параметры циклов ГТД с ТП имеют величины, близкие или совпадающие со значениями для цикла Брайтона, поэтому ГТД с ТП могут быть созданы на базе ГТД, выпускаемых промышленностью для авиации и кораблестроения. Если ГТУ работает по усложненному циклу, то она должна обладать высокой удельной мощностью.

Поставленная задача может быть решена введением в тепловую схему ГТД авиационного или

корабельного типа, имеющих обычно двухкаскадные компрессоры, промежуточного подогрева газа между турбинами газогенератора, а также применением перерасширения газа в силовой турбине.

1. Метод решения задачи

На рис. 1 изображена схема ГТД с промежуточным подогревом (ПП) газа в газогенераторе двигателя и силовой турбиной перерасширения (СТП). ПП газа производится во второй камере сгорания (КС2), установленной между турбиной высокого давления (ТВД) Т1 и турбиной среднего давления (ТСД) Т2, механически не связанных между собой. Перерасширение газа за силовой турбиной осуществляет дожимающий компрессор (ДК), перед которым газ охлаждается в охладителе газа (ОГ).

В координатах S - T (рис. 2) представлен цикл ГТД с ПП и СТП, где реальные процессы расширения газа в высокотемпературных турбинах, охлаждаемых цикловым воздухом, представлены эквивалентными процессами: $3_{см-4.1}$ – в турбине Т1; $3.2_{см-4.2}$ – в турбине Т2; $4.2_{см-5}$ – в СТП. Температура газа $T_{3.2}$ перед турбиной Т2 равна начальной температуре газа T_3 в двигателе.

В ГТД с ПП и СТП, также, как и в ГТД простого цикла, анализ экономичности циклов производился при изменении величины степени повышения давления в компрессоре π_k , начальной температуры

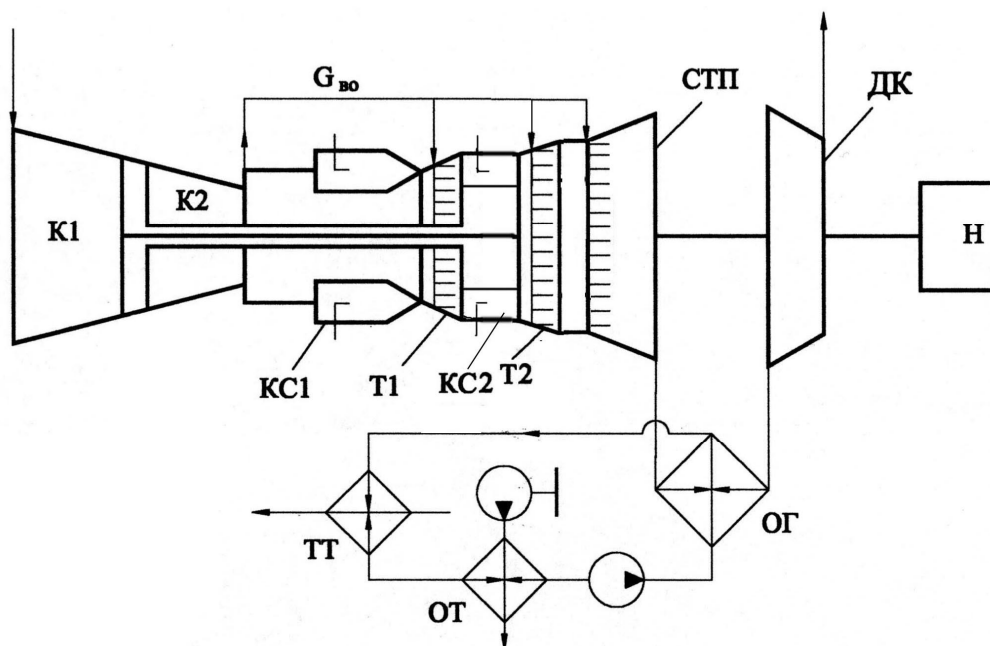


Рис. 1. Схема ГТД с промподогревом газа и силовой турбиной перерасширения: К1 и К2 – компрессоры; КС1 – основная камера сгорания; КС2 – камера сгорания промподогрева; Т1 и Т2 – турбины; СТП – силовая турбина перерасширения; ДК – дожимающий компрессор; ОГ – охладитель газа; Н – нагрузка

газа T_3 , а также степени понижения давления в ТП при прочих равных фиксированных параметрах, влияющих на КПД цикла.

Математическая модель для определения параметров циклов высокотемпературных ГТД с ТП [2] была дополнена введением ПП газа между турбинами газогенератора, с помощью которой определялось поле промежуточных значений и область оптимальных значений характеристик циклов.

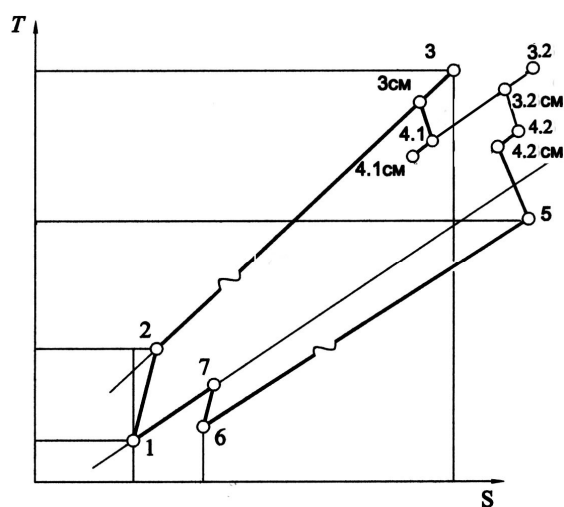


Рис. 2. Цикл ГТД с промежуточным подогревом газа в газогенераторе и силовой турбиной перерасширения

2. Результаты исследований

На рис. 3 изображены характеристики циклов ГТД с ПП и СТП (ПП+СТП), и для сравнения, ГТД простого цикла (П), а также цикла ГТД с ПП между турбинами газогенератора в зависимости от степени повышения давления в компрессоре двигателя π_k .

Величины эффективного КПД η_e и удельной мощности $n_{уд}$ получены при значениях:

$\bar{G}_{во} = 0,11 \dots 0,22$ – относительный расход воздуха на охлаждение деталей и узлов двигателя;

$k_n = T_{3,2}/T_3 = 1$ – коэффициент степени подогрева газа между турбинами Т1 и Т2 в газогенераторе;

$k_c = H_{к1}/H_k$ – относительная работа компрессора низкого давления К1.

Далее приняты условные обозначения: η – КПД турбомашин; π – степень повышения давления в компрессоре и расширения газа в турбине; T – температура. Индексы: k – компрессор; dk – дожимающий компрессор; e – эффективный; t – турбина.

Из приведенных на рис. 3 зависимостей видно, что введение ПП между турбинами Т1 и Т2 в газо-

генераторе увеличивает удельную мощность двигателя по отношению к простому ГТД (П) на 20...25%, но эффективный КПД при $\pi_k = 5...30$ ниже, а в зоне оптимальных π_k для простого ГТД на 4% абсолютных.

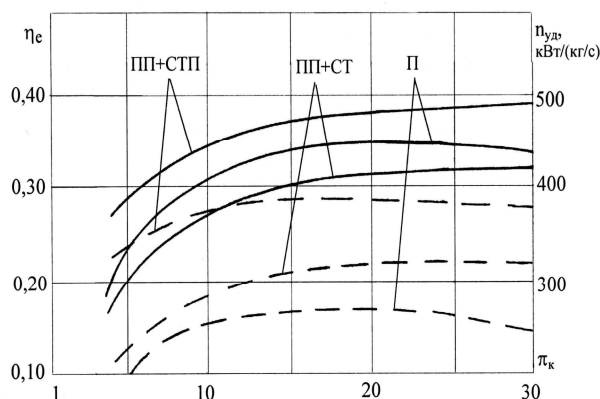


Рис. 3. Зависимости эффективного КПД η_e (сплошные линии) и удельной мощности $n_{уд}$ (прерывистые линии) от π_k при $T_3 = 1373\text{K}$, $k_n = 1,0$, $\pi_{ок} = 2,5$ и $k_c = 0,43$

Применение в ГТД с ПП перерасширения газа за силовой турбиной существенно улучшает характеристики ГТД с ПП газа. По отношению к характеристикам ГТД простого цикла в ГТД с ПП и СТП удельная мощность $n_{уд}$ увеличивается в среднем 1,4...1,5 раза, эффективный КПД во всем диапазоне изменения π_k относительно выше на 8...12%.

При начальной температуре газа $T_3 = 1373\text{ K}$ и $\pi_{ок} = 2,5$ эффективный КПД ГТД с ПП и СТП в диапазоне π_k от 15 до 30 наиболее высокий и монотонно растет. Наибольшие значения удельной мощности $n_{уд}$ в ГТД с ПП и СТП наблюдаются в диапазоне π_k от 12 до 20.

Определенное влияние на характеристики ГТД оказывает степень промежуточного подогрева газа k_n между турбинами Т1 и Т2. При $k_n = 1$ температура газа $T_{3,2}$ перед турбиной Т2 равна начальной температуре газа T_3 в двигателе. В ГТД простого цикла k_n равен примерно 0,78...0,8. В ГТД с ПП по мере увеличения степени подогрева газа эффективный КПД падает по отношению к простому ГТД в диапазоне π_k от 10 до 25 и при $k_n = 1$ уменьшается отно-

сительно на 10...15%, удельная мощность при этом увеличивается на 8...25%.

При ПП газа перед турбиной Т1 и применением перерасширения газа удельная мощность ГТД интенсивно растет и при $k_n = 1$ увеличивается на 45%, чем в ГТД простого цикла, причем прирост удельной мощности в диапазоне $\pi_k = 15...25$ практически относительно постоянный. Эффективный КПД ГТД с ПП и СТП по мере увеличения ПП газа монотонно уменьшается, но при всех значениях k_n и $\pi_{ок} = 2,25...2,75$ выше, чем в ГТД простого цикла.

В целом, в ГТД с начальной температурой газа $T_3 = 1373\text{K}$ и $\pi_k = 22$ при умеренном ПП газа ($k_n = 0,92$) перед турбиной Т1 эффективный КПД будет равен 39%, мощность увеличится в 1,4 раза по сравнению с ГТД простого цикла.

В заключение можно отметить, что оптимальная по КПД степень повышения давления в компрессоре π_k в ГТД с ПП и СТП составляет 15...25. В этом диапазоне π_k работают большинство высокотемпературных ГТД простого цикла, поэтому создание ГТД с ПП и СТП на базе многовальных ГТД имеет реальную основу.

Литература

1. Матвеев В.Т. Определение характеристик циклов судовых газотурбинных двигателей с турбиной перерасширения // Вестник СевГТУ: Сб. научн. тр. — Севастополь: СевГТУ, 1997. — Вып. 6. — С. 98-111.
2. Матвеев В.Т. Математическая модель для определения параметров циклов газотурбинных двигателей с промежуточным подогревом газа перед силовой турбиной // Вестник СевНТУ: Сб. научн. тр. — Севастополь: СевНТУ, 2002. — Вып. 38. — С. 110-114.

Поступила в редакцию 25.05.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Сафонов, Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, Севастополь.