

УДК 621.438

В.Т. МАТВЕЕНКО, В.А. ОЧЕРЕТЯНЫЙ

Севастопольский национальный технический университет, Украина

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

Проблема создания эффективной когенерационной установки на базе ГТД, обладающего высоким потенциалом энергии выхлопных газов, требует своего решения. В статье представлены результаты исследований характеристик циклов ГТД с промежуточным охлаждением (ПО) воздуха, промежуточным подогревом (ПП) газа и силовой турбиной перерасширения (СТП). Показано, что в ГТД с ПО, ПП и СТП охлаждение воздуха между компрессорами и подогрев газа между турбинами газогенератора увеличивает удельную мощность ГТД более, чем в 1,5 раза, а применение турбины перерасширения повышает эффективный КПД.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, газогенератор, промежуточное охлаждение воздуха, промежуточный подогрев газа, турбина перерасширения.

Введение

Использование газотурбинных двигателей (ГТД) простого цикла и некоторых типов ГТД сложного цикла для создания установок когенерационного типа позволяет повысить эффективность энергетической установки, так как 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.

Эффективным 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 ГТД работает по усложненному циклу, то он должен обладать высокой удельной мощностью.

Поставленная задача может быть решена введением в тепловую схему ГТД авиационного или корабельного типа, имеющих обычно двухкаскадные компрессоры, промежуточного охлаждения воздуха между компрессорами, 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 охлаждением (ПО), 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 ПО, ПП и СТП, где реальные процессы расширения газа в высокотемпературных турбинах, охлаждаемых цикловым воздухом, представлены эквивалентными процессами: 3см-4.1 – в турбине Т1; 3.2см-4.2 – в турбине Т2; 4.2см-5 – в СТП. Температура газа $T_{3,2}$ перед турбиной Т2 равна начальной температуре газа T_3 в двигателе.

В ГТД с ПО, 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 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 ПП газа между турбинами газогенератора [2] была дополнена введением ПО между компрессорами, с помощью которой определялось поле промежуточных значений и область оптимальных значений характеристик циклов.

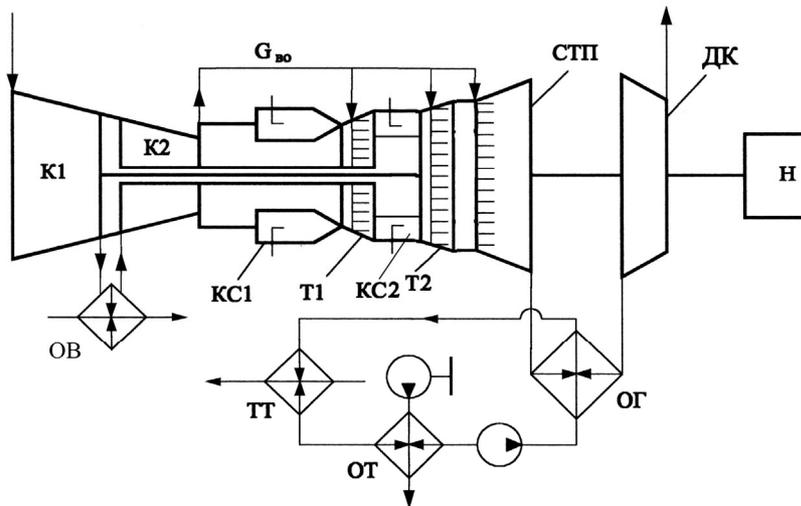


Рис. 1. Схема ГТД с промежуточным подогревом газа и силовой турбиной перерасширения:
 К1 и К2 – компрессоры;
 КС1 – основная камера сгорания;
 КС2 – камера сгорания промежуточного подогрева;
 Т1 и Т2 – турбины;
 СТП – силовая турбина перерасширения;
 ОВ – охладитель воздуха;
 ДК – дожимающий компрессор;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

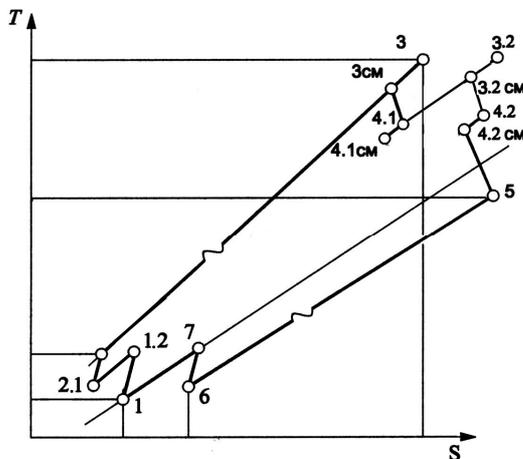


Рис. 2. Цикл ГТД с промежуточным подогревом газа в газогенераторе и силовой турбины перерасширения

2. Результаты исследований

На рис. 3 изображены характеристики циклов ГТД с ПО, ПП и СТП (2СН/ОП+ТП), для сравнения, а также ГТД простого цикла (П), цикла ГТД с ПО, ПП между турбинами газогенератора (2СН/ОП) 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; $k_{п} = T_{3,2}/T_3$ – коэффициент степени подогрева газа между турбинами Т1 и Т2 в газогенераторе; $k_c = N_{к1}/N_k$ – относительная работа компрессора низкого давления К1.

Далее приняты условные обозначения: η – КПД турбомашин; π – степень повышения давления в компрессоре и расширения газа в турбине; Т – температура. Индексы: к – компрессор; дк – дожимающий компрессор; е – эффективный; т – турбина.

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

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

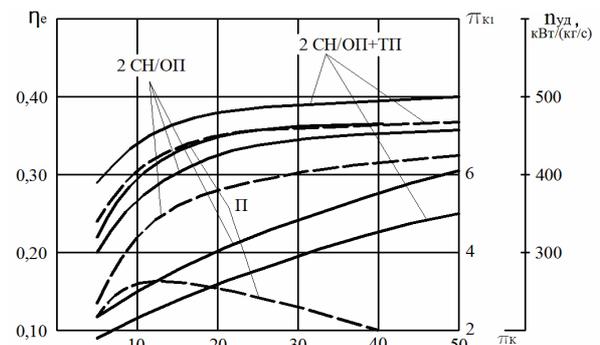


Рис. 3. Зависимости эффективного КПД η_e (сплошные линии) и удельной мощности $n_{уд}$ (прерывистые линии) от π_k при $T_3 = 1373$ К; $k_{п} = 1,0$; $\pi_{дк} = 2,25$ и $k_c = 0,43$

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

При начальной температуре газа $T_3 = 1373$ К и $\pi_{дк} = 2,25$ 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 ПО, ПП и СТП наблюдаются в диапазоне π_k от 12 до 30. Определенное влияние на характеристики ГТД оказывает степень промежуточного подогрева газа $k_{п}$ между турбинами Т1 и Т2. При $k_{п} = 1$ температура газа $T_{3,2}$ перед турбиной Т2 равна начальной температуре газа T_3 в двигателе. В ГТД простого цикла $k_{п}$ 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 относительно на 10...15%, удельная мощность при этом увеличивается на 8...25%.

При ПО и ПП газа перед турбиной Т2 и применением ТП 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 ПО, ПП и СТП по мере увеличения ПП газа монотонно уменьшается, но при всех значениях k_n и $\pi_{дк}=2,25...2,75$ выше, чем в ГТД простого цикла.

В целом, в ГТД с начальной температурой газа $T_3 = 1373$ К и $\pi_k = 22$ при ПП газа ($k_n=1,0$) перед турбиной Т2 эффективный КПД будет равен 39 %, мощность увеличится в 1,4 раза по сравнению с ГТД простого цикла.

Выводы

1. В высокотемпературном ГТД сложного цикла, традиционно включающего промежуточное охлаждение воздуха, промежуточный подогрев газа имеет более высокую удельную мощность, но эф-

фективный КПД ниже, чем в ГТД простого цикла.

2. Применение турбины перерасширения в ГТД сложного цикла увеличивает удельную мощность примерно в 1,5-1,8 раза с одновременным ростом эффективного КПД.

3. Оптимальная по КПД степень повышения давления в компрессоре π_k в ГТД с ПО, ПП и СТП составляет 20...25. В этом диапазоне π_k работают большинство высокотемпературных ГТД простого цикла, поэтому создание ГТД с ПО, ПП и СТП на базе многовалвных ГТД имеет реальную основу.

Литература

1. Матвеевко В.Т. Определение характеристик циклов судовых газотурбинных двигателей с турбиной перерасширения / В.Т. Матвеевко // Вестник СевГТУ: Сб. научн. тр. – Севастополь: СевГТУ, 1997. – Вып. 6. – С. 98-111.

2. Матвеевко В.Т. Математическая модель для определения параметров циклов ГТД с промежуточным подогревом газа и силовой турбиной перерасширения / В.Т. Матвеевко // Вестник СевНТУ: Сб. научн. тр. – Севастополь: СевНТУ, 2007. – Вып. 80. – С. 91-94.

Поступила в редакцию 30.04.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. ЭМСС Н.Н. Салов, Севастопольский национальный технический университет, Севастополь.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛІВ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ З ПРОМІЖНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ, ПРОМІЖНИМ ПІДІГРІВОМ ГАЗУ І ТУРБІНОЮ ПЕРЕРОЗШИРЕННЯ

В.Т. Матвієнко, В.А. Очеретяний

Проблема створення високо ефективною когенераційної установки на базі ГТД, що володіє високим потенціалом енергії вихлопних газів, вимагає свого рішення. У статті подано результати досліджень характеристик циклів ГТД з проміжним охолодженням (ПО) повітря і з проміжним підігрівом (ПП) газу і силовою турбіною перерозширення (СТП). Показано, що охолодження повітря між компресорами і підігрів газу між турбінами газогенератора збільшує питому потужність ГТД більш, ніж у 1,5 рази, а застосування турбіни перерозширення підвищує ефективний ККД.

Ключові слова: газотурбінні двигун, газогенератор, проміжне охолодження повітря, проміжне підігрів газу, турбіна перерозширення.

RESULTS OF RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF CYCLES GAS TURBINE OF ENGINES WITH INTERMEDIATE COOLING OF AIR, WITH INTERMEDIATE BY ADDITIONAL HEATING OF GAS AND TURBINE OVEREXPANSION

V.T. Matveenko, V.A. Ocheretyaniy

The problem of creation is high effective cogenerative of installation on base of GTE, having in high potential of energy of exhaust gases, requires the decision. The results of research of the characteristics of cycles GTE with intermediate cooling of air, with intermediate by additional heating of gas and turbine overexpansion are submitted in article. Is shown, that the cooling of air and heating of gas between turbines gas generator increases specific capacity GTE more, than in 1,5 times, and the application of the turbine overexpansion raises effective EFFICIENCY.

Key words: gas turbine of engines, gas generator, intermediate cooling of air, intermediate by additional heating of gas, turbine overexpansion.

Матвеевко Валерий Тимофеевич – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры, Севастопольский национальный технический университет, Севастополь.

Очеретяний Владимир Анатольевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры, Севастопольский национальный технический университет, Севастополь.