

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГТУ СЛОЖНОГО ЦИКЛА GT24

© 2009 В. А. Иванов

ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь

Рассматриваются особенности проектирования ГТУ сложного цикла с промежуточным подогревом GT24 и GT26 фирмы АВВ на базе ГТУ простого цикла GT11N2.

Цикл, зависимость, ГТУ, параметры, проектирование

Одновальная ГТУ сложного цикла с промежуточным подогревом GT24 (мощностью 165 МВт) и ее увеличенная модель GT26 (мощностью 240 МВт) фирмы АВВ имеют высокую степень повышения давления в компрессоре ($\pi_k=30$), а также важную термодинамическую особенность: одинаково высокие температуры газа $T_{г1,2} \approx 1500$ К на выходе из первой и второй камер сгорания.

На рис. 1 показана схема энергетических ГТУ GT24 и GT26.

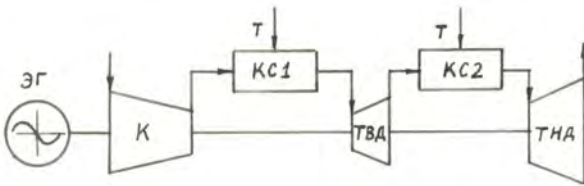


Рис. 1. Схема энергетических ГТУ сложного цикла с промежуточным подогревом GT24 и GT26

Как видно из рис. 1, в ГТУ GT24 и GT26 воздух сжимается в 22-ступенчатом компрессоре (К) и поступает в основную камеру сгорания КС1, в которой сжигается 2/3 топлива. Затем продукты сгорания расширяются в одноступенчатой турбине высокого давления (ТВД) и поступают в дополнительную камеру сгорания КС2, куда подводится оставшаяся 1/3 топлива. После КС2 газы расширяются в четырехступенчатой турбине низкого давления (ТНД). Обе КС – кольцевые. В дополнительной КС2 загрязняющие атмосферу вредные вещества – оксиды азота NO_x - практически не образуются [1, 2].

На рис. 2 показано полученное расчетным путем увеличение мощности ГТУ сложного цикла с промежуточным подогревом

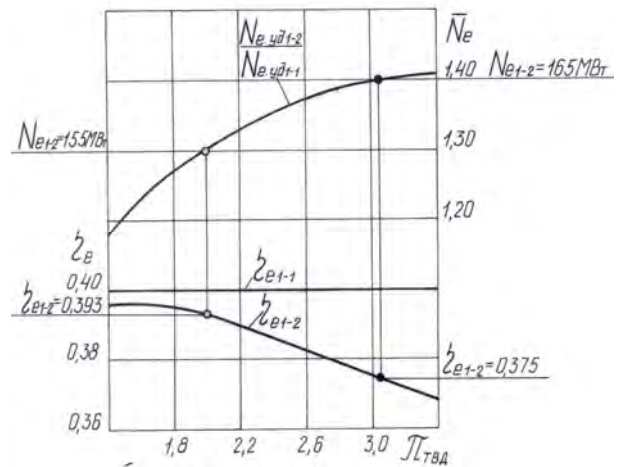


Рис. 2. Зависимость параметров ГТУ сложного цикла с промежуточным подогревом GT24 от степени расширения газа в турбине высокого давления ($ISO, T_{г1}^*=T_{г2}^*=1510K; \pi_k^*=30; \eta_{к.пол}^*=0,89; \eta_{твд}^*=0,89; \eta_{тнд}^*=0,925; \eta_{г1}=\eta_{г2}=0,999; \sigma_{ax,y}^*=0,99; \sigma_{кс1}^*=0,96; \sigma_{кс2}^*=0,97; \bar{G}_{ox.1ca}=0,06; \bar{G}_{ox.1рк}=0,035; \bar{G}_{ox.2ca}=0,07; \bar{G}_{ox.2рк}=0,045; \bar{G}_{ox.ост.са,рк}=0,05$);
 • - параметры реализованного варианта ГТУ GT24;
 ° - параметры экономичного варианта ГТУ GT24

(цикл 1-2) GT24 за счет увеличения подвода теплоты в КС2 (увеличения параметра $\pi_{ТВД}$) при постоянной температуре газа в первой и второй камерах сгорания $T_{г1,2}=1510$ К ($\approx 1235^\circ C$).

Здесь: η^* - КПД узлов; σ^* - коэффициент восстановления полного давления; $\bar{G} = G_{ox} / G_k$ - относительный расход воздуха из компрессора на охлаждение лопаток сопловых аппаратов (СА) и рабочих колес (РК) турбин.

Как видно из рис. 2, при увеличении степени расширения газа в турбине высокого давления $\pi_{ТВД}$ (увеличении подвода теплоты в КС2) мощность ГТУ GT24 увеличивается

максимально на 40% ($\bar{N}_e=1,40$) по сравнению с мощностью ГТУ простого цикла (цикл 1-1) с такими же термодинамическими параметрами. Общая мощность ГТУ GT24 при этом достигает заявленной величины $N_{e1-2}=165$ МВт, но эффективный КПД снижается до $\eta_{e1-2}=0,375$ [3, 4, 5] и становится значительно ниже эффективного КПД ГТУ простого цикла $\eta_{e1-1}=0,40$.

Из рис. 2 видно также, что возможен более экономичный вариант ГТУ сложного цикла, когда увеличение мощности по сравнению с мощностью ГТУ простого цикла составит величину 30 % при существующем уровне потерь энергии в узлах. Общая мощность ГТУ сложного цикла при этом уменьшается до величины $N_{e1-2}=155$ МВт, а эффективный КПД увеличивается до $\eta_{e1-2}=0,393$ и практически соответствует КПД ГТУ простого цикла.

На рис. 3 показано расчетное обоснование реализованного варианта ГТУ GT24 с мощностью $N_{e1-2}=165$ МВт и эффективным КПД $\eta_{e1-2}=0,375$.

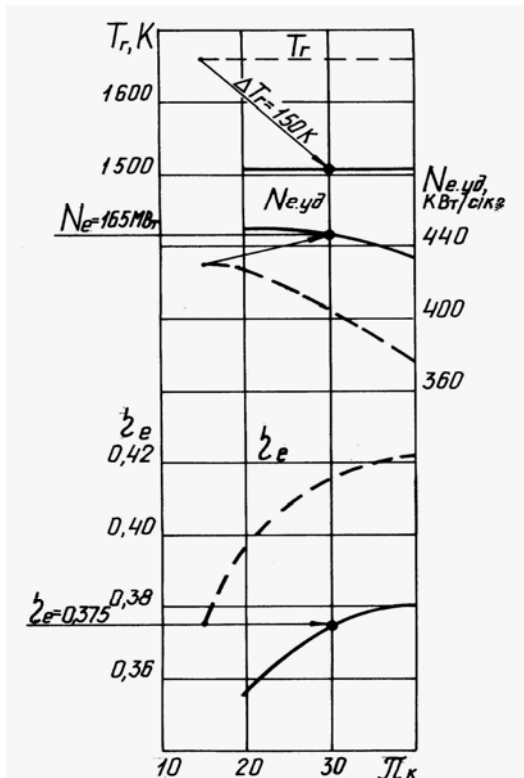


Рис. 3. Зависимость параметров ГТУ от степени повышения давления:

- ГТУ простого цикла GT11N2;
- ГТУ сложного цикла с промежуточным подогревом GT24;
- изменение параметров при переходе от простого к сложному циклу

Заметим, что ГТУ GT24 создана на базе ГТУ простого цикла GT11N2, имеющего 16 - ступенчатый компрессор с степенью повышения давления (СПД) $\pi_k=15$, мощность $N_{e1-1}=115$ МВт и эффективный КПД $\eta_{e1-1}=0,349$ [1, 6]. Для достижения заявленной мощности $N_e=165$ МВт в ГТУ простого цикла GT11N2 потребовалось бы увеличение температуры газа в камере сгорания до $T_r \approx 1660$ К.

Вместо этого, как показано на рис. 3, СПД была увеличена вдвое до $\pi_k=30$ за счет добавления в компрессор последних 6 ступеней, а за счет усложнения цикла путем введения в схему КС2 температура газа в камерах сгорания вновь созданной ГТУ GT24 была понижена до $T_{r1,2}=1510$ К (на $\Delta T=150$ К), и при заявленной мощности $N_{e1-2}=165$ МВт было обеспечено повышение эффективного КПД до $\eta_{e1-2}=0,375$ (как в ГТУ простого цикла GT11N2 при $T_r=1660$ К). Заметим, что СПД $\pi_k=30$ является оптимальной по эффективному КПД для ГТУ простого цикла при $T_r=1510$ К.

На рис. 4 показана T-S диаграмма, поясняющая преимущество сложного цикла ГТУ GT24, GT26 с двухступенчатым сгоранием [5]. Как видно из рис. 4, двухступенчатое сгорание обеспечивает повышение мощности ГТУ за счет повышения СПД без повышения температуры газа на входе в турбину. Для обеспечения мощности ГТУ простого цикла с од-

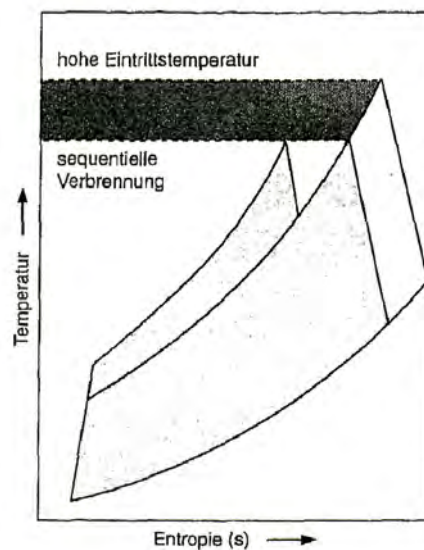


Рис. 4. T-S диаграмма циклов ГТУ с одно- и двухступенчатым сгоранием

неступенчатым сгоранием такой же, как в ГТУ сложного цикла с двухступенчатым сгоранием, необходимо повысить температуру газа на входе в турбину. Тогда преимущество ГТУ GT24, GT26 (табл. 1) заключается в уменьшении стоимости используемых сплавов, уменьшении сложности системы охлаждения турбины и уменьшении эмиссии вредных веществ.

Таблица 1 - Параметры ГТУ GT24 и GT26 (сложный и комбинированный циклы)

Параметры	GT24	GT26
Частота электрического тока, Гц	60	50
Частота вращения вала, об/мин	3600	3000
Мощность ГТУ (сложный цикл), МВт	165	240
КПД ГТУ (сложный цикл), %	37,5	37,8
Температура газов на выходе из КС1 и КС2, °С	1235	1235
Температура газов за турбиной, °С	610	608
Степень повышения давления	30	30
Расход газов за турбиной, кг/с	376	542
Мощность ПГУ (комбинированный цикл), МВт	251	365
КПД ПГУ (комбинированный цикл), %	58	58,5
Эмиссия NO _x , ppm	<25	<25

Как видно из табл.1, использование ГТУ GT24, GT26 в парогазовой установке (ПГУ) позволяет также за счет двухступенчатого сгорания получить в комбинированном цикле температуру газа на выходе из турбины, оптимальную по утилизации теплоты ОГ в паровой турбине [4, 5, 7].

Библиографический список

1. Елисеев, Ю.С. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок: учеб. для втузов / Ю.С. Елисеев [и др.] - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. - 635 с.
2. Цанев, С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций /

С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов. - М.: Изд-во МЭИ, 2002. - 579 с.

3. Advanced Cycle System with new GT24 and GT26 gas turbines – historical background ABB Power Generation // ABB Review 1994, №1.
4. First GT24 will improve efficiency at Gilbert // Modern power systems, May 1994, p.65-73.
5. Hauenschild, R. Kombi-Kraftwerke mit höchsten Wirkungsgraden und niedrigsten Emissionen unter Einsatz der Gasturbine GT26 / R. Hauenschild, W. Jury // VGB Kraftwerkstechnik, 75 (1995), Heft 6, p. 487-493.
6. Component test results announced for ABB advanced – cycle gas turbines // Diesel and Gas turbine Worldwide 1995, № 1. P. 30-32.
7. Ольховский, Г.Г. Разработки перспективных энергетических ГТУ / Г.Г. Ольховский. – Теплоэнергетика. - 1996, -№4. - С. 66-75.

References

1. Eliseev, Yu.S. Theory and Design of gas-turbine and combined engines: Manual. / Yu.S. Eliseev [and a.] - M.: MGTU named N.E. Bauman, 2000. – P. 635.
2. Tzanev, S.V. Gas-turbine and paro-gas engines of тепловых электростанций / S.V. Tzanev, V.D. Burov, A.N. Remezov. - M.: MEI, 2002. - 579 с.
3. Advanced Cycle System with new GT24 and GT26 gas turbines – historical background ABB Power Generation // ABB Review 1994, №1.
4. First GT24 will improve efficiency at Gilbert // Modern power systems, May 1994, p.65-73.
5. Hauenschild, R. Kombi-Kraftwerke mit höchsten Wirkungsgraden und niedrigsten Emissionen unter Einsatz der Gasturbine GT26 / R. Hauenschild, W. Jury // VGB Kraftwerkstechnik, 75 (1995), Heft 6, p. 487-493.
6. Component test results announced for ABB advanced – cycle gas turbines // Diesel and Gas turbine Worldwide 1995, -№ 1. P. 30-32.
7. Olkhovskiy, G.G. Design of perspectives power-plants gas-turbine engines / G.G. Olkhovskiy. – Теплоэнергетика. - 1996, -№4. - P. 66-75.

FEATURES OF DESIGNING GAS TURBINE OF COMPLEX CYCLE GT24

© 2009 V.A. Ivanov

Joint-Stock Company «Aviadvigatel», Perm

Features of designing gas turbine of a complex cycle with intermediate warm up GT24 and GT26 firms ABB on base gas turbine of simple cycle GT11N2 are considered.

Gas turbine Units, cycle, effective efficiency, optimization

Информация об авторах

Иванов Вадим Александрович, кандидат технических наук, инженер-конструктор 1 категории ОАО «Авиадвигатель». E-mail: iva-perm@rambler.ru. Область научных интересов – оптимизация термогазодинамических циклов газотурбинных двигателей.

Ivanov Vadim Alexandrovich, Candidate of Engineering Science, 1st class design engineer in “Aviadvigatel” Public Corporation. E-mail: iva-perm@rambler.ru. Area of research: optimization of gas turbine engine heat cycles.