

УДК 621.438

**СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВИАЦИОННО-ПРОИЗВОДНЫХ
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК
COMPARISON OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS
OF AERO-DERIVATIVE GAS TURBINE UNITS**

А. И. Снапкова, В. А. Новикова

Научный руководитель – С. А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

A. Snapkova, V. Novikova

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *приведены результаты сравнительного анализа циклов авиационно-производных промышленных газотурбинных установок. Рассмотрены трехвальные газотурбинные установки простого цикла, цикла с промежуточным охлаждением и цикла с промежуточным охлаждением и регенерацией.*

Abstract: *the results of comparative analysis of cycles of aero-derivative industrial gas turbine units are presented. Three-shaft gas turbine units of simple cycle, cycle with intermediate cooling and cycle with intermediate cooling and regeneration are considered.*

Ключевые слова: *газотурбинная установка, простой цикл, промежуточное охлаждение, регенерация.*

Keywords: *gas turbine unit, simple cycle, intermediate cooling, regeneration.*

Введение

Как следует из названия, авиационно-производные промышленные газотурбинные установки (ГТУ) представляют собой ГТУ, полученные из авиационных газотурбинных двигателей путем их преобразования. Производители ГТУ обнаружили, что для снижения затрат на проектирование и разработку новых газовых турбин более эффективным подходом является разработка высокопроизводительных промышленных газовых турбин путем модификации авиационных газотурбинных двигателей.

Основная часть

Решение об использовании авиационных газовых турбин в энергетике основано на их экономических и эксплуатационных преимуществах: малое время простоя на техническое обслуживание, хорошая эффективность при частичной нагрузке и более высокая норма прибыли. Более того, авиационные газовые турбины могут соответствовать строгим требованиям по контролю NO_x , поскольку они подходят для увеличения мощности за счет впрыска пара.

Использование таких теплообменников, как регенератор и промежуточные охладители, имеет большой потенциал для снижения расхода топлива и, таким образом, сокращения выбросов CO_2 . Регенератор использует часть тепла выхлопных газов для повышения температуры воздуха, поступающего в камеру сгорания. Это позволяет достичь той же температуры на входе в газовую турбину, как в установках простого цикла, но с использованием меньшего количества топлива.

Компания GE Power разработала, изготовила и внедрила крупномасштабную ГТУ с промежуточным охлаждением воздуха в промежуточном охладителе (интеркулере) между компрессорами низкого (КНД) и высокого (КВД) давления (приводимых соответственно турбинами высокого (ТВД) и низкого (ТНД) давления) на основе авиационно-производных установок серии LMS100, полученных из LM6000 путем добавления промежуточного охладителя и свободной силовой турбины (СТ), обеспечивающих выходную мощность около 100 МВт (рисунок 1) [1].

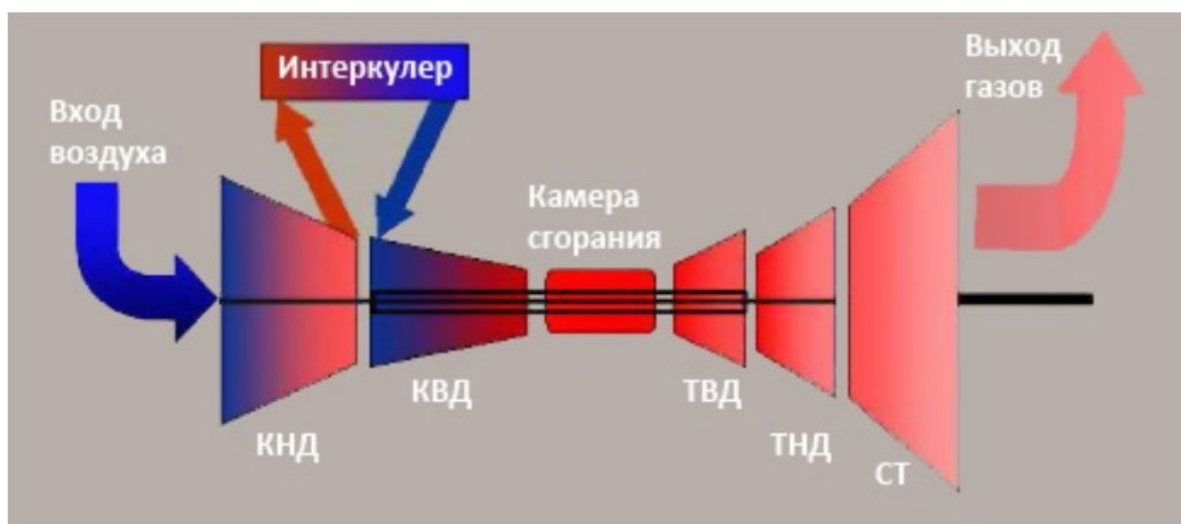


Рисунок 1 – Конфигурация ГТУ LMS100 [1]

Ниже приводятся результаты анализа экономичности циклов авиационно-производных промышленных газотурбинных установок мощностью 100 МВт: простого цикла, цикла с промежуточным охлаждением и цикла с промежуточным охлаждением и регенерацией. Рассматривается трехвальная ГТУ со свободной силовой турбиной, приводящей генератор, в которой компрессор низкого давления приводится от газовой турбины низкого давления, а компрессор высокого давления – от турбины высокого давления.

На рисунке 1 приведен цикл Брайтона для такой ГТУ в TS-координатах с учетом необратимости процессов.

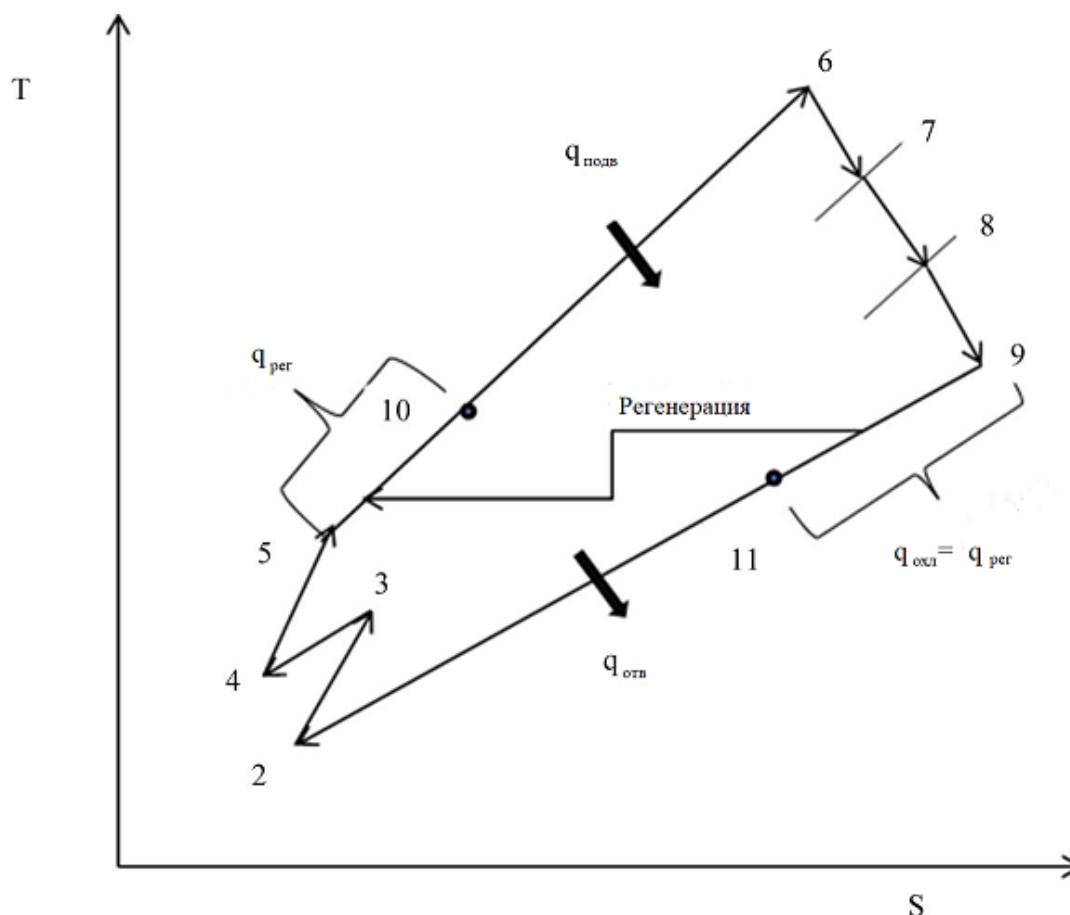


Рисунок 2 – TS-диаграмма цикла Брайтона для ГТУ с промежуточным охлаждением и регенерацией [2]

Здесь процесс 2–3 и 4–5 – повышение давления соответственно в компрессоре низкого и высокого давления; 3–4 – охлаждение сжимаемого воздуха между компрессором низкого и высокого давления; 5–10 – повышение температуры воздуха после компрессора высокого перед камерой сгорания в регенераторе; 10–6 – подвод теплоты в камере сгорания; 6–7, 7–8, 8–9 – расширение газов соответственно в турбинах высокого, низкого давления и силовой турбины; 9–11 – охлаждение выхлопных газов в регенераторе.

Промежуточное охлаждение снижает общую работу компрессоров, тем самым увеличивая полезную выходную мощность ГТУ, при этом работа турбины остается прежней. Также промежуточное охлаждение увеличивает удельную работу цикла, тепловую нагрузку камеры сгорания, и, таким образом, повышает расход топлива.

За счет регенерации электрический КПД цикла увеличивается, поскольку часть тепла выхлопных газов теперь используется для предварительного нагрева воздуха на выходе из компрессора.

В таблице 1 и на рисунках 3, 4 приведены показатели трехвальных двигателей LS2-ADIGT простого цикла, цикла с промежуточным охлаждением и цикла с промежуточным охлаждением и регенерацией на основе исследования, проведенного в [2].

Таблица 1 – Показатели трехвалвных двигателей LS2-ADIGT [2]

Параметр, размерность	Простой цикл	Цикл с промежуточным охлаждением	Цикл с промежуточным охлаждением и регенерацией
Мощность ГТУ, МВт	100	100	100
Расход воздуха на входе, кг/с	215,5	215,5	215,5
Расход газов на выходе, кг/с	220,59	220,47	220,54
Расход топлива, кг/с	5,09	4,97	5,04
Температура выхлопных газов, °С	510	419	417
Степень повышения давления	42,15:1	42,15:1	42,15:1
Термический КПД	0,457	0,467	0,460

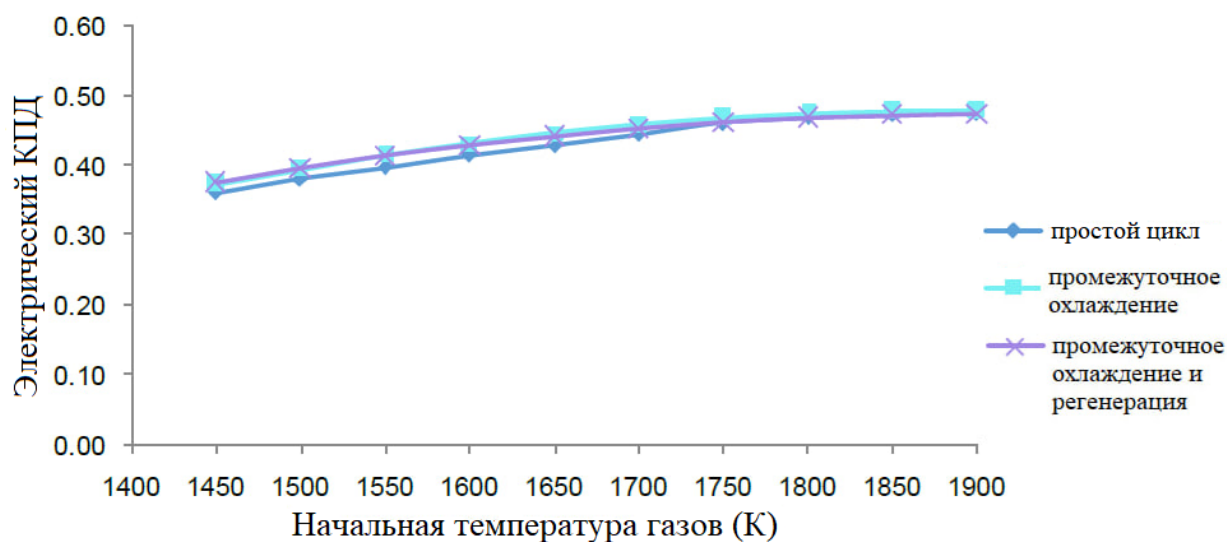


Рисунок 3 – Тепловая экономичность двигателей LS2-ADIGT в зависимости от начальной температуры газов [2]

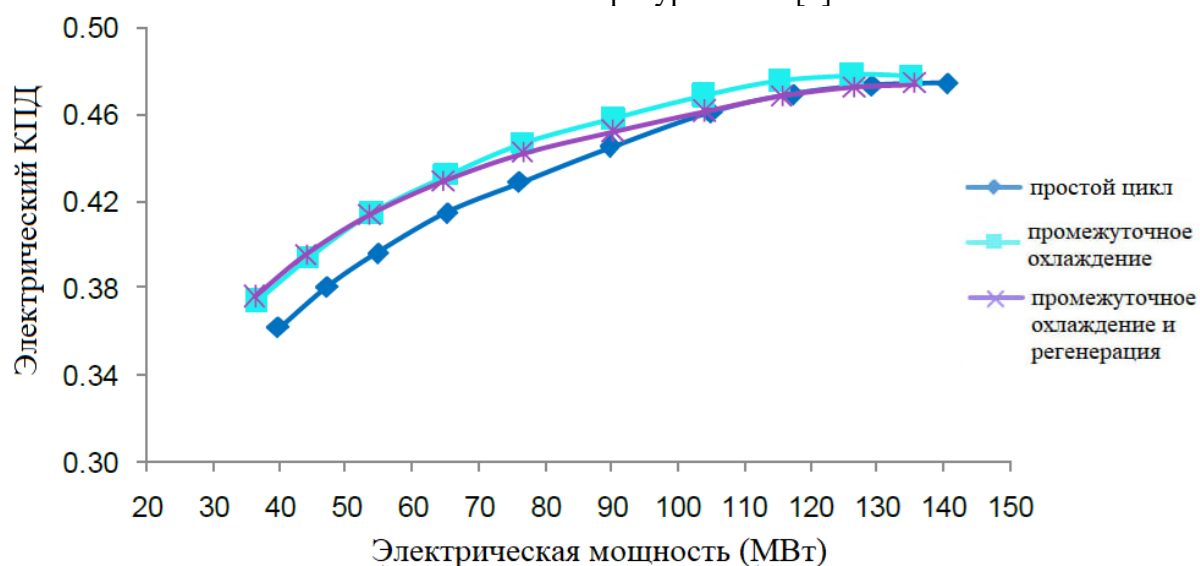


Рисунок 4 – Тепловая экономичность двигателей LS2-ADIGT в зависимости от электрической мощности [2]

Цикл с промежуточным охлаждением и регенерацией сочетает в себе оба преимущества промежуточного охлаждения и теплообмена, описанные выше, для достижения повышенной тепловой эффективности.

Заключение

Как было показано, циклы с промежуточным охлаждением и регенерацией демонстрируют более высокую тепловую эффективность, чем двигатели простого цикла. Тепловая мощность камеры сгорания сложных циклов снижена по сравнению с простым двигателем. При этом следует отметить, что для крупномасштабных авиационно-производных газотурбинных установок номинальной мощностью 100 МВт и выше цикл с промежуточным охлаждением будет потреблять меньше топлива, чем циклы с промежуточным охлаждением и регенерацией и простые циклы. Сказанное поможет проектировщикам, производителям и пользователям крупномасштабных газотурбинных установок на основе авиационных двигателей сделать правильный выбор цикла.

Литература

1. Буров, В. Д. Особенности применения газотурбинной установки сложного цикла в составе конденсационных парогазовых установок / В. Д. Буров, А. А. Дудолин, А. В. Евланов. – Москва : Московский энергетический ин-т (ТУ), 2024: [сайт]. – URL: https://manbw.ru/analytics/application_gas-turbine_unit_compound_cycle_composition_condensational_steam-gas_installations.html (дата обращения: 19.03.2025).
2. Advanced Cycles Large-Scale Aero-Derivative Gas Turbines: Performance Comparison / Barinyima Nkoi, Thank God Ebi Isaiah // Journal of Power and Energy Engineering. – 2016. – № 4. – P. 7–19.