

УДК 621.438

Т. Х. Содикзода, Д. М. Суворов

Вятский государственный университет, г. Киров

tima-ti.97@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛОВ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК С ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ВПРЫСКОМ ПАРА

В работе приведена краткая характеристика газотурбинных установок. Определено, что наивысшей энергетической эффективностью обладают ГТУ с энергетическим впрыском пара типа STIG. Приведены данные по изменению мощности и экономичности установки при вводе водяного пара в камеру сгорания ГТУ. Поставлена задача расчета установок типа STIG в широком диапазоне граничных условий при использовании разработанной авторами математической модели.

Ключевые слова: *газотурбинная установка; энергетический впрыск водяного пара; камера сгорания; эффективность работы.*

T. Kh. Sodikzoda, D. M. Suvorov

Vyatka State University, Kirov

STUDY OF THE EFFICIENCY OF CYCLES OF GAS TURBINE UNITS WITH ENERGY INJECTION OF WATER VAPOR

The paper presents a brief description of gas turbine units. It is determined that the highest energy efficiency among gas turbines has ones with steam energy injection type STIG. The data on the change in power and efficiency of the installation when entering water vapor into the combustion chamber of the GTU are given. The task of calculating STIG installations in a wide range of boundary conditions using the mathematical model developed by the authors.

Keywords: *gas-turbine unit; injection; energy injection of water vapor; combustion chamber; efficiency*

Газотурбинной установкой (ГТУ) называют тепловой двигатель, в котором рабочее тело последовательно проходит через воздушный компрессор, камеру сгорания и газовую турбину. Как известно, полезная мощность ГТУ составляет только 30–50 % от мощности газовой турбины [1].

На сегодняшний день основным способом повышения эффективности ГТУ является увеличение температуры поступающих в турбину газов. Уже удалось достичь температур порядка 1400–1500 °С.

Внутренний КПД цикла газотурбинной установки может быть найден по выражению (1) [1]:

$$\eta = (H_T - H_K) / q_1 = H / q_1, \quad (1)$$

где H_T – действительный теплоперепад в турбине;

H_K – действительный теплоперепад в компрессоре;

q_1 – теплота, подведенная к 1 килограмму рабочего тела.

График зависимости внутреннего КПД ГТУ от степени повышения давления при разных температурных коэффициентах τ при характерных значениях адиабатных КПД турбины (0,87) и компрессора (0,84) на входе в газовую турбину представлен на рис. 1.

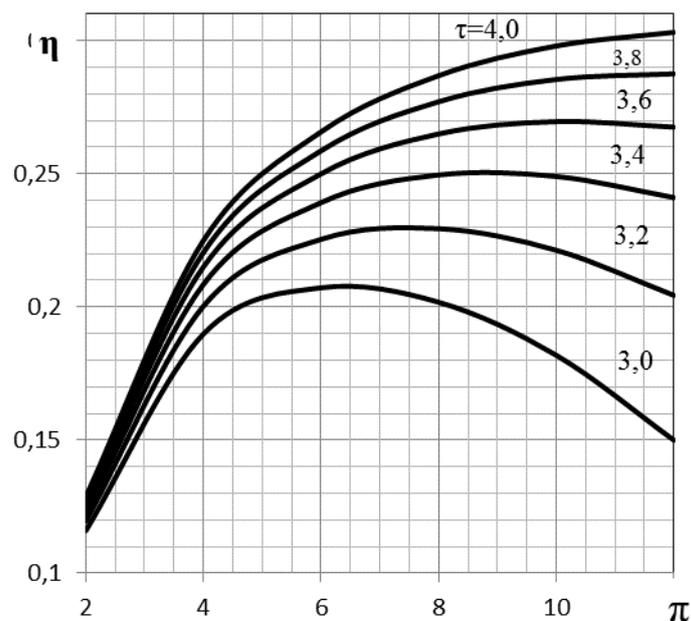


Рис. 1. График зависимости внутреннего КПД простой ГТУ η от отношений давлений π и температур τ

Усложнение простейшего цикла может быть осуществлено по-разному; например, широкое распространение получили бинарные парогазовые установки (ПГУ). Промежуточное положение между бинарными ПГУ и ГТУ занимают ГТУ с энергетическим впрыском пара в проточную часть. В такой установке два рабочих тела, воздух (точнее – продукты горения) и водяной пар, совместно работают в паротурбинной части. За рубежом такого рода ГТУ получила название *STIG* (*Steam Injected Gas Turbine*).

Принципиальная схема ГТУ с впрыском пара представлена на рис. 2.

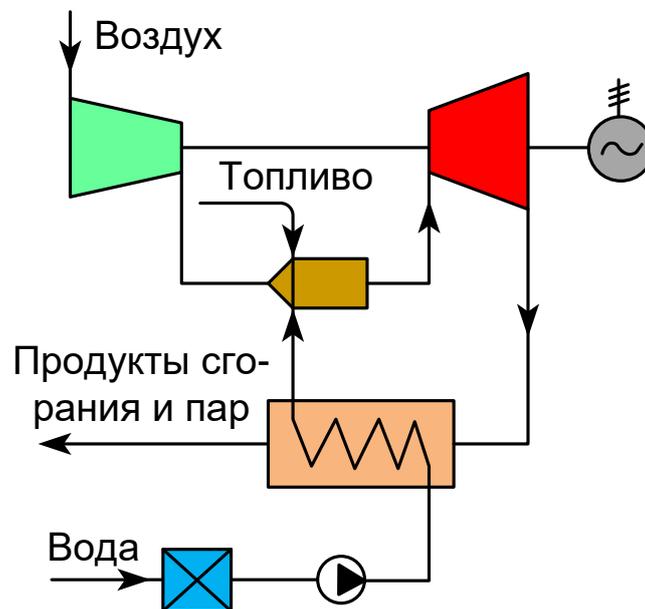


Рис. 2. Принципиальная схема ГТУ с энергетическим впрыском пара

В газовый тракт такой установки может быть подмешан водяной пар, полученный в отдельно стоящем теплообменнике, в котором используется тепло покидающих турбину газов. Этот пар, смешиваясь с продуктами сгорания, снижает их температуру. В связи с этим удастся существенно снизить расход воздуха в камеру сгорания. Снижение расхода воздуха приводит к снижению мощности компрессора и однозначно экономически эффективно. Эффективность подачи пара предстоит оценить в данной работе. Водяной пар вместе с уходящими газами выбрасывается в окружающую среду. С этим связана необходимость иметь систему водоподготовки для постоянного восполнения потери воды (пара).

Установки типа *STIG* малой и средней мощности производит фирма *General Electric* [2]. Эффективность таких установок этой фирмы представлена в следующей таблице [2].

Изменение мощности и экономичности установки при вводе водяного пара в камеру сгорания ГТУ типа *STIG*

Параметры	Модуль ГТУ		
	LM 1600	LM 2500	LM 5000
Мощность двигателя без ввода пара, МВт	13,0	22,2	33,1
Мощность двигателя при вводе пара, МВт	16,7	26,5	51,9
КПД двигателя без ввода пара, %	34	35	36
КПД двигателя при вводе пара, %	40	39	43

Видно, что вследствие впрыска пара увеличивается не только мощность, но и КПД.

НПО «Зоря»–«Машпроект» (Украина) также производит такие установки мощностью до 40 МВт, имеющие КПД до 42 % [3].

Подробный расчет энергетической эффективности установок типа *STIG* с впрыском пара с целью оптимизации их параметров при использовании разработанной авторами математической модели, пример реализации которой для ГТУ обычной схемы приведен в [4], в широком диапазоне граничных условий будет произведен в ходе дальнейшей работы по данной теме.

Список использованных источников

1. Паровые и газовые турбины для электростанций [Электронный ресурс] : учебник для вузов / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний : под ред. А. Г. Костюка. М. : Издательский дом МЭИ, 2016. С. 372–399.
2. Классификация ПГУ, их типы, преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energocon.com/pages/id1053.html> (дата обращения: 16.11.2018)
3. ГП НПКГ «Зоря»–«Машпроект» ГК «УкрОборонПром» [Электронный ресурс]. URL: <http://zmturbines.com/ru/special-development-for-power/aquarius-units/> (дата обращения: 18.11.2018)
4. Suvorov D. M., Tatarinova N. V., Krupin D. F., Suvorova L. A., Baibakova T. V. Energy and economic efficiency of gas turbine units and heat pumps in power-supply systems in the Arctic regions of Russia // Problemele energeticii regionale. 2017. № 1 (33). P. 66–76.