

## Оценка эффективности современных бинарных установок

Ильин Р. А., канд. техн. наук, Пастухов О. В., инж.

ФГБОУ ВПО “Астраханский государственный технический университет”

Показана целесообразность применения парогазовых (бинарных) установок. Дано описание парогазовой установки ПГУ-110 мощностью 110 МВт. Рассмотрены конструктивные особенности, назначение, принцип работы, мощностные и теплотехнические характеристики всех ее узлов. Приведена оценка эффективности ПГУ-110 при температурах атмосферного воздуха от 20 °С до –25 °С. Вычислены КПД установки при различных режимах работы в летний и зимний периоды.

**Ключевые слова:** парогазовые установки, эффективность, режимы работы, коэффициент полезного действия, влияние температуры атмосферного воздуха.

Парогазовые установки (ПГУ) получают все большее распространение в России. Они используют в своем цикле два рабочих тела — пар и газ и называются также бинарными установками. В настоящее время энергетический КПД ПГУ составляет 50 % и более с хорошей перспективой повышения в ближайшее десятилетие — до 60 %. Очевидно, что в будущем они найдут самое широкое применение в энергетике [1–3].

В Южном федеральном округе одна из ПГУ введена в эксплуатацию в 2011 г. в Астрахани. Это ПГУ-110 с установленной электрической мощностью 110 МВт (отбор тепловой мощности может составить 66 Гкал/ч). В ее состав входят две газотурбинные установки (ГТУ) мощностью по 46,6 МВт и паровая турбина мощностью 16,72 МВт. Основное оборудование ПГУ:

1) две газотурбинные установки LM 6000 PF Sprint производства компании “General Electric”. Двухвальный газотурбинный двигатель LM 6000 включает в себя блок входного направляющего аппарата, пятиступенчатый компрессор низкого давления, четырнадцатиступенчатый компрессор высокого давления, кольцевую камеру сгорания, двухступенчатую турбину высокого давления, пятиступенчатую турбину низкого давления, блок раздаточного редуктора и вспомогательного оборудования. Температура газов перед ГТУ — 1217, после ГТУ — 445 °С. Ротор низкого давления ГТУ состоит из компрессора и турбины низкого давления, ротор высокого давления — из четырнадцатиступенчатого компрессора и двухступенчатой турбины высокого давления. Компрессоры низкого и высокого давления приводятся во вращение соответственно турбинами низкого и высокого давления через концентрические приводные валы. Температура сжатого воздуха на входе в камеру сгорания — 520 °С;

2) два паровых котла-утилизатора Steam-Gentm-8 для использования теплоты отработавших газов газовой турбины. С целью повышения эффективности утилизации теплоты уходящих газов и снижения их температуры за котлом установлен газодляной водоподогреватель. Температура газов за котлом — 95 °С;

3) стационарная теплофикационная паровая турбина типа Т-14/23-4,5 производства компании “Калужский турбинный завод” с регулируемым отопительным отбором пара, предназначенная для непосредственного привода электрогенератора переменного тока. Она выполнена по схеме двух давлений: пара контура высокого давления и промежуточного ввода пара из контура низкого давления от котла-утилизатора двух давлений.

По результатам работы ПГУ-110 авторы статьи определили энергетический КПД (как отношение электрической мощности ПГУ к затратам тепловой энергии, получаемой при сжигании топлива) в летний и зимний периоды. Теплота сгорания топлива (природный газ) в летний период составляла 34 056 кДж/м<sup>3</sup>, в зимний — 34 186 кДж/м<sup>3</sup>.

Все режимы соответствуют электрической мощности ПГУ, равной или близкой к номинальной (и без отбора тепловой мощности от установки). На рис. 1 в качестве примера приведен график одного из суточных зимних режимов. Его особенности: поддержание постоянной мощности ПГУ в целом и по ее блокам —  $N_{ГТУ-1}$ ,  $N_{ГТУ-2}$ ,  $N_{ПГУ}$ .

На рис. 2 приведены вычисленные авторами энергетические КПД брутто для указанных выше суточных режимов при различных температурах окружающего воздуха  $t_{окр}$ . Можно констатировать, что эти КПД практически не зависят от температуры воздуха при постоянной мощности установки (хотя у энергетического КПД  $\eta_{ЭН}$  согласно расчетным данным для ПГУ-110 имеется определенная

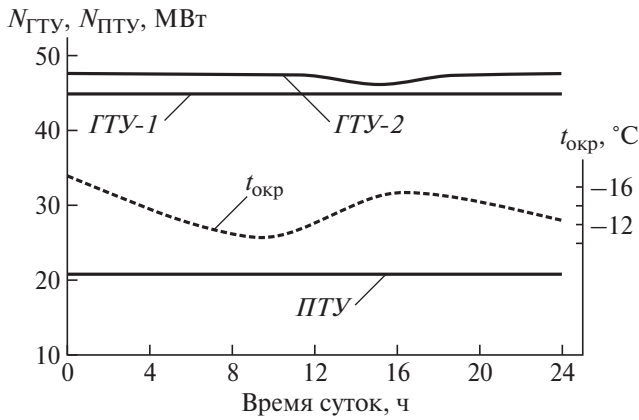


Рис. 1. График изменения соотношения мощностей ГТУ и ПТУ в парогазовой установке в течение суток в зимнее время при мощности ПГУ 113 МВт

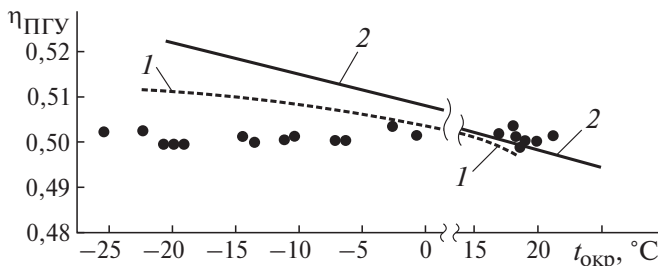


Рис. 2. Зависимости энергетического КПД брутто ПГУ-110 от температуры воздуха (точки):

кривые 1 и 2 — расчетные данные согласно [2] и [3]

зависимость  $N_{ПГУ}$  от  $t_{окр}$ , а следовательно, и у  $\eta_{ЭН}$  от  $t_{окр}$  при переменной мощности ПГУ при разных температурах воздуха).

Учитывая, что эффективность ГТУ в составе ПГУ определяет эффективность ПГУ в целом, на рис. 3 для сравнения приведены коэффициенты использования располагаемой эксергии отечественных ГТУ и ГТУ в составе ПГУ-110, вычисленные по методике [1, 2]. Кривая построена по данным для газотурбинных установок с начальной температурой газа перед ГТУ 1000 – 1250 °С и степенью повышения давления  $\pi_D = 10 \div 29$  (ГТГ-6, ГТУ-12ПЭ, ГТД-16, ГТУ-16ПЭ, АЛ-31СТ, ГТУ-55СТ-20, ГТУ-25ПЭ, ГТГ-25, НК-37, НК-31-1, ГТЭ-25У, ГТЭ-110). В таблице указаны сравнительные данные по номинальному коэффициенту использования располагаемой эксергии различных ПГУ.

Таким образом, эффективность ПГУ-110 соответствует современным параметрам парогазовых установок. Подробный анализ (в том

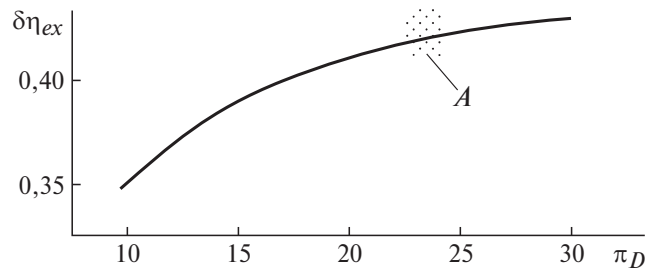


Рис. 3. График изменения коэффициента использования располагаемой эксергии отечественных ГТУ (для современных и действующих газотурбинных установок согласно [1]) и ГТУ в составе ПГУ-110 (область А) по данным для указанных режимов работы ПГУ

Марка ПГУ	Мощность, МВт	Коэффициент $\delta\eta_{ex}$
ПГУ-455	450	0,57
ПГУ-450Т	450	0,58
ПГУ-320	320	0,59
ПГЦ-332	332	0,60
ПГУ-110	110	0,57
ПГУ-80	67	0,53
КА10-1	36	0,57
ПГУ-27	28	0,57
Vega 105	39	0,49

числе — при работе установки на специальных режимах) можно будет провести после накопления достаточного количества эксплуатационных данных.

### Список литературы

- Ильин Р. А., Ильин А. К., Иванов В. А. Эксергетические характеристики отечественных и зарубежных газотурбинных установок. — Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология, 2010, вып. 1.
- Ильин Р. А. Комплексная термодинамическая оценка эффективности теплоэнергетических установок / МНИЭУ(МЭИ), УМО вузов РФ по образованию в области энергетики и электротехники. — Астрахань: Новая линия, 2011.
- Мошкарин А. В., Шельгин Б. Л., Жаллиханов Т. А. Режимные характеристики ГТЭ-110 для энергоблока ПГУ-325. — Вестник Ивановского гос. энергетич. ун-та, 2010, вып. 2.

kaften.astu@mail.ru