Николаев Ю.Е., Вдовенко И.А., Иванов А.Ю.

Эффективность работы ТЭЦ-ГТУ в маневренном режиме

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
(Россия, Саратов)*

doi: 10.18411/trnio-11-2021-60

Аннотация

Особенностью современного этапа развития энергетики РФ является увеличение физически изношенного оборудования на тепловых электростанциях, наращивание электрических мощностей в европейской части страны атомных электростанций, работающих преимущественно в базовой части суточного электрического графика. В этих условиях станции на органическом топливе вынуждены работать в переменной части электрического графика, что приводит к ухудшению показателей тепловой экономичности и удорожанию вырабатываемой энергии. В статье рассматривается эффективность замены паротурбинного оборудования ТЭЦ на газотурбинное, обладающего высокими маневренными характеристиками. В качестве основного оборудования была выбрана отечественная газотурбинная установка ГТЭ-65. Для расчета термодинамических и экономических показателей ТЭЦ-ГТУ, при работе по электрическому графику нагрузок, была разработана и составлена математическая модель, а также блок-схема алгоритма расчета характеристик и показателей эффективности станции для двух вариантов: при глубокой разгрузке ГТУ в ночной период и при остановке ГТУ в ночное время.

В результате расчетов было установлено, что наибольший экономический эффект достигается при эксплуатации ГТУ без останова в ночной период.

Ключевые слова: газотурбинная установка, маневренный режим, электрический график, количественные термодинамические и экономические показатели.

Abstract

A feature of the current stage of the development of the Russian energy sector is the increase in physically worn-out equipment at thermal power plants, the increase in electrical capacity in the European part of the country of nuclear power plants operating mainly in the basic part of the daily electrical schedule. Under these conditions, organic fuel stations are forced to operate in a variable part of the electric schedule, which leads to a deterioration in thermal efficiency and an increase in the cost of energy produced. The article discusses the efficiency of replacing the steam turbine equipment of the CHP with gas turbine equipment, which has high maneuverability characteristics, the domestic gas turbine unit GTE-65 was chosen as the main equipment. To calculate the thermodynamic and economic indicators of the CHP-GTU, when working according to the electrical load schedule, a mathematical model was developed and compiled, as well as a block diagram of the algorithm for calculating the characteristics and efficiency indicators of the station for two options: when the GTU is deeply discharged at night and when the GTU is stopped at night.

As a result of calculations, it was found that the greatest economic effect is achieved when operating the GTU without stopping at night.

Keywords: gas turbine installation, maneuverable mode, electrical schedule, quantitative thermodynamic and economic indicators.

Актуальным направлением современного этапа развития теплоэнергетики РФ является повышение эффективности производства электрической и тепловой энергии. В ряде регионов европейской части страны, где построены атомные электростанции (АЭС), электрическая энергия вырабатывается с избытками над потребностью регионов и передается по линиям электропередач в другие районы. Кроме того, ограниченный диапазон изменения электрической нагрузки на АЭС вынуждают ТЭЦ с сильно изношенным паротурбинным оборудованием, эксплуатироваться в переменной части электрического графика, что существенно ухудшает показатели тепловой экономичности и увеличивает себестоимость вырабатываемой электроэнергии [1,2].

В данной работе рассмотрен вариант замены ПТУ на ГТУ для работы в маневренном режиме. Суточный график электрической нагрузки энергосистемы изображен на рисунке 1[3].

Рисунок 1. Суточный график электрической нагрузки

Для упрощения расчетов график усреднен по трем уровням нагрузки, соответственно 30, 60 и 90%.

В соответствии с целью определены основные задачи исследования.

1. Разработка математической модели для расчета показателей эксплуатации ГТУ-ТЭЦ при регулировании электрического графика нагрузки.
2. Определение интегральных показателей эффективности ГТУ-ТЭЦ в маневренном режиме.

Для определения эффективности работы ГТУ в маневренном режиме разработана математическая модель. Расчет термодинамического цикла ГТУ выполнен с использованием методических положений [4,5] при изменении температуры наружного воздуха и величины относительной электрической нагрузки. На рисунке 2 приведена блок-схема алгоритма расчета характеристик и показателей эффективности ТЭЦ-ГТУ.

Рисунок 2. Блок-схема алгоритма расчета характеристик и показателей эффективности ТЭЦ-ГТУ

В качестве исходных данных приняты суточный график электрических нагрузок, график тепловых нагрузок отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, среднемесячные температуры наружного воздуха. В качестве газовой турбины рассмотрена установка ГТЭ-65 [6]. С использованием этих данных определены электрическая и тепловая мощность, годовые выработки энергии на ГТУ.

Результаты расчетов годовых показателей ГТУ при условии снижения нагрузки в ночной период до 30% от установленной и случая полного останова турбины в ночное время приведены в таблице 1 и 2.

Таблица 1

Годовые показатели ГТУ при условии снижения нагрузки в ночной период до 30% от установленной

Наименование показателя	Размерность	Полученные данные
Годовая выработка электроэнергии	МВт*ч/год	306023,3
Годовое количество тепла, отпускаемого от котла-утилизатора	МВт*ч/год	419312,7
Годовое количество тепла, отпускаемого от пикового котла (ПК)	МВт*ч/год	324368,1
Годовой расход топлива ГТУ	тыс. кг у.т./год	139594,4
Годовой расход топлива ПК	тыс. кг у.т./год	44270,3

Таблица 2

Годовые показатели ГТУ при условии останова турбины в ночной период

Наименование показателя	Размерность	Полученные данные
Годовая выработка электроэнергии	МВт*ч/год	236472,5
Годовое количество тепла, отпускаемого от котла-утилизатора	МВт*ч/год	325369,2
Годовое количество тепла, отпускаемого от ПК	МВт*ч/год	418311,6
Годовой расход топлива ГТУ	тыс. кг у.т./год	101003,8
Годовой расход топлива ПК	тыс. кг у.т./год	57091,8
Годовой расход топлива на пуск ГТУ	тыс. кг у.т./год	1757,7

С использованием математической модели выполнены расчеты экономических показателей ТЭЦ-ГТУ с определением чистого дисконтированного дохода (ЧДД), индекса доходности (ИД), внутренней нормы доходности (ВНД) и срока окупаемости ($T_{ок}$). При этом приняты следующие исходные данные: стоимость электрической энергии на шинах источника 2,96 руб./кВт ч, стоимость отпущенной теплоты 1591,53 руб./ГКал, стоимость топлива 5,329 руб./кг у.т., удельная стоимость ТЭЦ с ГТУ 41480 руб./кВт. Результаты расчета показаны таблице 3 и на рисунке 3.

Таблица 3

Экономические показатели ГТУ-ТЭЦ

Условие работы в ночной период	Наименование показателя			
	ЧДД, млн. руб.	ИД	ВНД, %	$T_{ок}$ год
В работе	1503,4	1,3096	15,96	11,9
Остановлена	647,35	1,1333	13,5	14,5

Рисунок 3. График изменения чистого дисконтированного дохода по годам

На рисунке 3 синей линией изображен график изменения ЧДД для случая, когда установка работает в ночной период, а красной линией, когда газотурбинная установка остановлена в ночной период.

Анализируя результаты расчета экономических показателей можно сделать вывод об экономической целесообразности первого варианта работы ГТУ по электрическому графику нагрузок, относительно второго.

Выводы.

1. Эксплуатация ГТУ с изменением электрической нагрузки приводит к существенному изменению термодинамических параметров (электрического КПД, температуры продуктов сгорания на выходе из турбины, что приводит к снижению тепловой мощности котла-утилизатора).
2. Рассмотрена работа ТЭЦ-ГТУ в двух вариантах:
 - при снижении мощности ГТУ в ночной период до 30% от установленной;
 - при остановке ГТУ в ночное время.
3. Наибольший экономический эффект достигается при эксплуатации ГТУ без остановки в ночной период. Срок окупаемости капиталовложений в данном случае составляет 11,9 лет.

1. Филиппов С.П., Дильман М.Д. ТЭЦ в России: необходимость технологического обновления// Теплоэнергетика 2018. №11.С.5-22.
2. Филиппов С.П., Дильман М.Д., Ионов М.С. Потребности электроэнергетики России в газовых турбинах: текущее состояние и перспективы // Теплоэнергетика. 2017. № 11. С. 53–65.
3. Ю.Е. Николаев, С.В. Сизов\ Эффективность применения малых ТЭЦ с газовыми турбинами для энергоснабжения промышленных и коммунальных потребителей. \\\ Учебное пособие, Саратов 2011. 68 с.
4. Л.В. Арсеньев, В.Г. Тырышкин, И.А. Богов, Ю.С. Подобуев\ Стационарные газотурбинные установки: справочник\\\ «Машиностроение», Ленинградское отделение, Ленинград, 1989. 120 с.
5. В. В. Рыбалко, А. А. Часовских \ Методика теплового расчета газотурбинных энергетических установок. \\\ Учебное пособие, Санкт-Петербург 2002. 120 с.
6. Пешков Л.И. Анализ современного состояния использования отечественных газотурбинных технологий в электроэнергетике. Самара: TV-пресс. 2004 С. 61-85.