

УДК 621.438

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ
ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ PG6111 GE
EFFECT OF OPERATING CONDITIONS ON THE PERFORMANCE
OF THE PG6111 GE GAS TURBINE UNIT**

А. О. Касяник, Е. А. Савенко

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

А. Kasyanik, E. Savenko

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

***Аннотация:** рассматривается влияние эксплуатационных факторов на показатели газотурбинных установок на примере установки типа PG6111 General Electric. Приведены зависимости показателей установки от параметров атмосферного воздуха: температуры, давления, влажности, а также от потерь давления на входе и выхлопе. Дается оценка степени ухудшения эксплуатационных характеристик установки и способов его восполнения.*

***Abstract:** the influence of operating factors on the performance of gas turbines is considered using as the example a PG6111 General Electric units. Dependences of the performance of the units on the parameters of atmospheric air are given: temperature, pressure, humidity, as well as pressure losses at the inlet and exhaust. An assessment of the degree of deterioration in performance and ways to compensate for it is given.*

***Ключевые слова:** газотурбинные установки, показатели, параметры атмосферного воздуха, эксплуатационные характеристики.*

***Key words:** gas turbines, indicators, atmospheric air parameters, operation, performance characteristics.*

Введение

Параметры и показатели газотурбинных установок (ГТУ) обычно даются в стандартных условиях ISO 2314 (ГОСТ 20440-75). Это параметры воздуха на входе в компрессор: давление 0,1013 МПа, температура +15 °С, относительная влажность 60 %; сопротивление входного и выхлопного трактов ГТУ не учитывается. Параметры ГТУ в условиях ISO используются для определения технического уровня установки и сравнения ее с ближайшими аналогами. Тем не менее большую часть времени ГТУ эксплуатируются в нерасчетных условиях [1].

Основная часть

Рассмотрим влияние эксплуатационных факторов на показатели ГТУ на примере установки типа PG6111 американской компании General Electric (GE), которая является одним из мировых лидеров в производстве ГТУ для энергетики, промышленности и авиации [2].

В табл. 1 приведены основные характеристики PG6111 GE в условиях ISO при работе на природном газе с низшей теплотворной способностью (LHV) 47,891 МДж/кг.

Таблица 1 – Основные характеристики ГТУ типа PG6111 GE в условиях ISO

Показатель, размерность	Значение
Номинальная мощность, МВт	77,6
Электрический КПД, %	35,78
Степень повышения давления компрессора	16,4
Число камер сгорания	6
Число ступеней компрессора	18
Число ступеней турбины	3
Температура выпускных газов, °С	606
Энергия выхлопных газов, кДж/ч	503
Минимальная нагрузка, %	52
Скорость изменения нагрузки, МВт/мин	7
Время пуска, мин	29
Эмиссия оксидов азота NO _x при номинальной нагрузке (15 % O ₂)	15 ppm
Эмиссия угарного газа CO при минимальной нагрузке	9 ppm

Поскольку атмосферный воздух является рабочим телом ГТУ, то показатели этих установок существенно зависят от параметров наружного воздуха: температуры, давления, влагосодержания.

При этом температура наружного воздуха влияет в наибольшей степени.

Каждая модель ГТУ имеет свои особенности влияния температуры на входе в компрессор на показатели работы установки. На рис. 1 приведены зависимости показателей ГТУ PG6111FA GE.

Как видно из рис. 1 понижение температуры наружного воздуха увеличивает его плотность, массовый расход воздуха через компрессор, расход выпускных газов, электрическую мощность и электрический КПД установки, а их температура и удельный расход теплоты уменьшается.

Из рис. 1 следует, что при изменении температуры наружного воздуха больше всего изменяется электрическая мощность ГТУ. С учетом этого номинальную мощность электрогенератора выбирают выше, чем мощность ГТУ на расчетном режиме.

Поправка на высоту над уровнем моря или барометрическое давление более проста. По мере увеличения высоты площадки, на которой установлена ГТУ, плотность воздуха уменьшается, в соответствии с этим уменьшаются массовый расход воздуха через компрессор, расход топлива в камеру сгорания и мощность ГТУ (рис. 2). При этом КПД и другие показатели не изменяются.

Повышенная влажность воздуха делает его менее плотным, чем сухой воздух, и также влияет на мощность ГТУ и КПД, снижая их.

Дополнительные потери давления на входе компрессора и в системе отвода отработавших газов влияют на показатели ГТУ. Так, установка фильтров воздуха, глушителей, испарительных охладителей на входе или устройств утилизации тепла в потоке отходящих газов вызывает потери давления в системе.

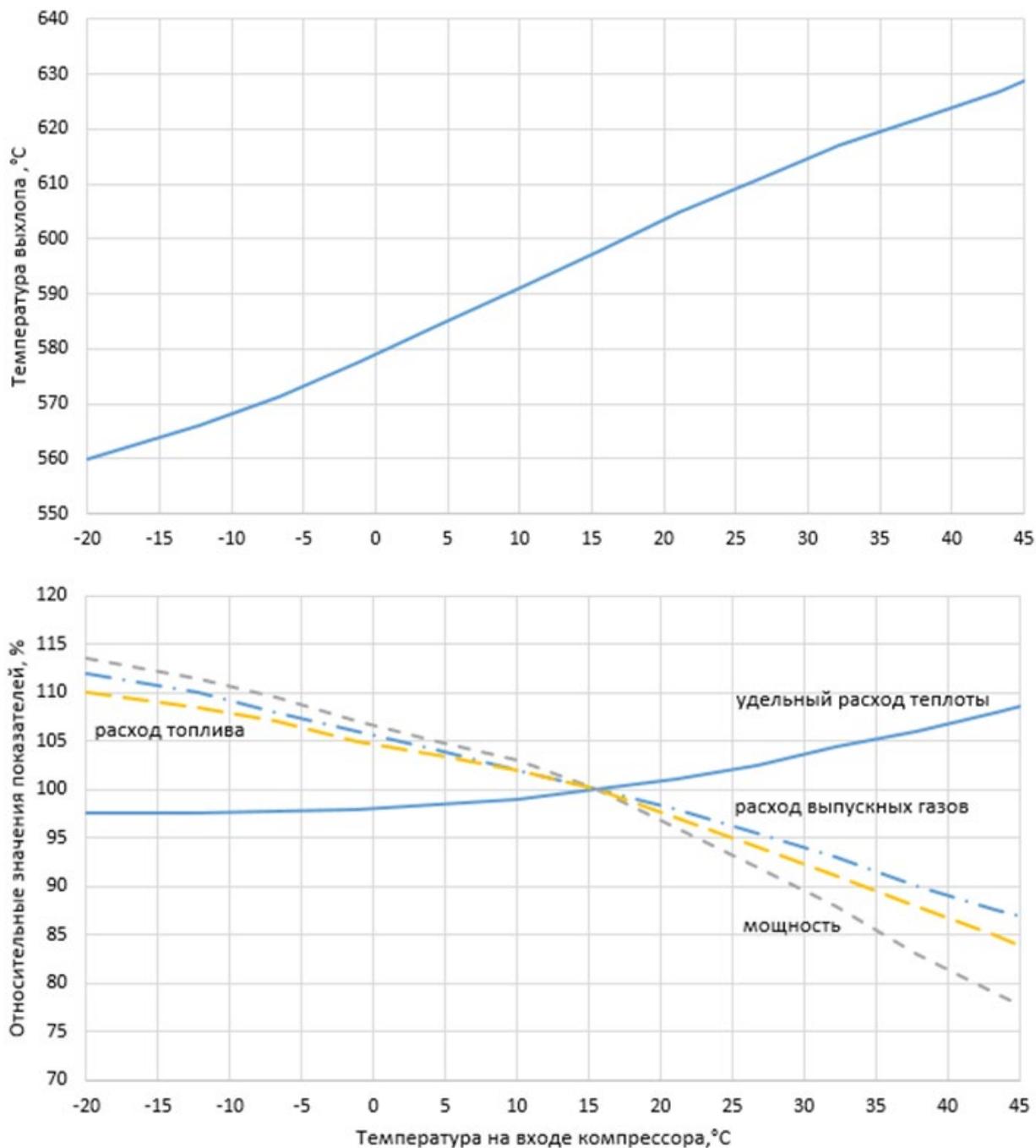


Рисунок 1 – Зависимость относительных показателей работы ГТУ PG6111FA GE от температуры воздуха на входе в компрессор

Влияние таких потерь давления уникально для каждой конструкции ГТУ. Например, для ГТУ типа PG6111FA GE падение давления на 0,001 бар на впуске приводит к потере выходной мощности на 1,42 %, повышению тепловой мощности на 0,45 %, повышению температуры отходящих газов на 1,1 °C.

Падение на 0,001 бар на выпуске приводит к потере выходной мощности на 0,42 %, повышению тепловой мощности на 0,42 %, повышению температуры отходящих газов на 1,1 °С.

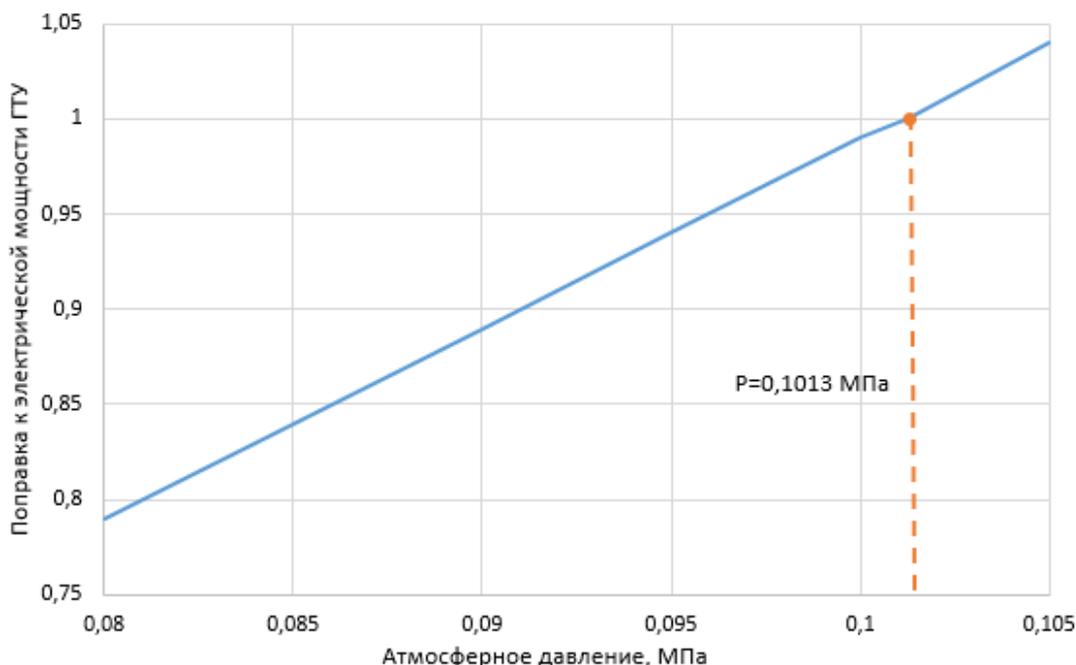


Рисунок 2 – Коэффициент поправки к электрической мощности ГТУ в зависимости от атмосферного давления

Эксплуатационные характеристики всех ГТУ ухудшаются со временем. При этом можно различать восполнимые и невосполнимые потери.

Восполнимые потери обычно связываются с загрязнением компрессора и могут быть частично восполнены промывкой водой или более тщательной механической очисткой лопаток компрессора после останова и вскрытия установки.

Невосполнимые потери, в основном, возникают из-за увеличения зазоров в уплотнениях турбины и компрессора, и изменения чистоты поверхности и профиля лопаток. В связи с тем, что данные потери вызваны понижением эффективности работы компонентов, они не могут быть восполнены техническим обслуживанием или очисткой компрессора, а требуют замены соответствующих деталей с рекомендованной периодичностью.

Оценка степени ухудшения эксплуатационных характеристик затруднена, так как достаточно сложно получить надежные эксплуатационные данные. На сопоставление данных с разных площадок влияют такие переменные величины как режим эксплуатации, содержание в воздухе загрязняющих веществ, влажность, качество топлива и уровни впрыска пара или воды для поддержания уровня выбросов оксидов азота. Еще одной проблемой является широкое разнообразие испытательных приборов и методик, часто с большими допусками и погрешностями.

Обычно, ухудшение эксплуатационных характеристик для первых 24 000 часов эксплуатации (нормальный рекомендованный интервал проверки

тракта горячих газов) составляет от 2 % до 6 % по сравнению с результатами эксплуатационных испытаний с поправкой на гарантированные условия эксплуатации (рис. 3). Это предполагает отсутствие замены изношенных деталей. В случае замены ожидаемое ухудшение эксплуатационных характеристик составляет от 1 % до 1,5 %.

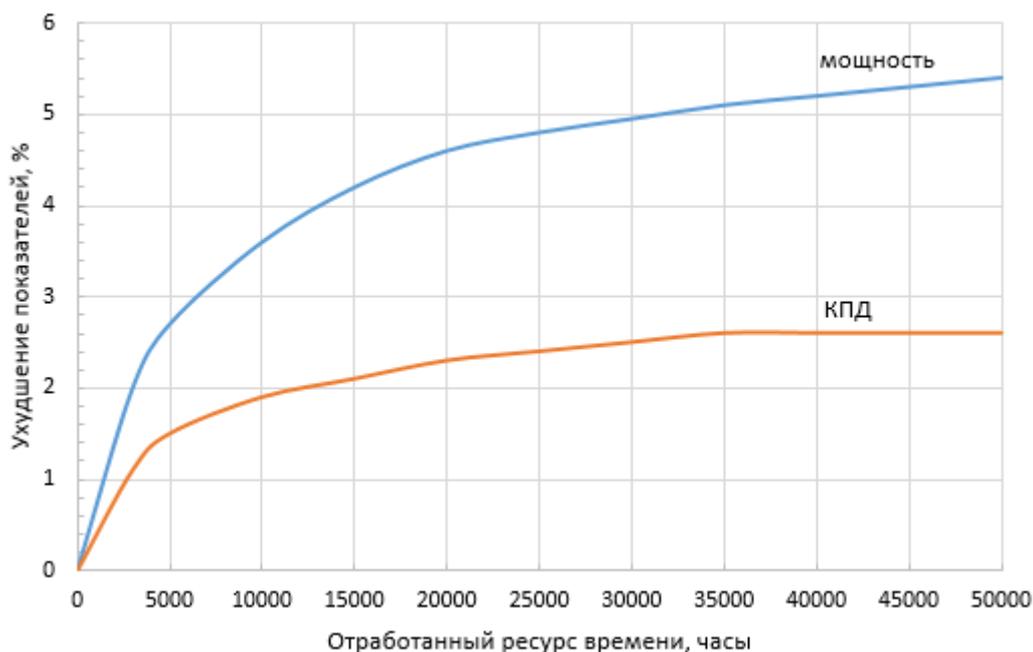


Рисунок 3 – Ожидаемое ухудшение показателей работы ГТУ

Заключение

ГТУ PG 6111FA GE создана на базе передовой технологии F-класса. ГТУ отличается высокой эффективностью и надежностью, низким уровнем выбросов вредных веществ. При этом показатели работы существенно зависят от условий эксплуатации и технического обслуживания установок.

Литература

1. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. Учебное пособие для вузов / С. В. Цанев [и др.]; под ред. С. В. Цанева – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 584 с.
2. GE Gas Turbine Performance Characteristics / Frank J. Brooks // GE Power Systems Schenectady, NY. – 2003.