

УДК 621.438

**АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗОК
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК
ANALYSIS OF OPTIONS FOR LOAD CONTROL
OF GAS TURBINE PLANT**

Е.Е. Калинина, Ю.А. Маргина

Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель,

С.И. Ракевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

a.pawlowskaya@bntu.by, rakevich95@tut.by

Y. Kalinina, Y. Marhina

Supervisors – N. Paulouskaya, Senior Lecturer, S. Rakevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** одной из ключевых проблем, с которыми сталкиваются операторы газотурбинных установок, является регулирование нагрузок. В данной статье анализируются некоторые способы такого регулирования.*

***Abstract:** one of the key challenges facing gas turbine plant operators is load control. This article analyzes some ways of such regulation.*

***Ключевые слова:** газотурбинные установки, регулирование, осевой компрессор, эффективность.*

***Keywords:** gas turbine plants, regulation, axial compressor, efficiency.*

Введение

Газотурбинные установки (далее – ГТУ) применяются в различных сферах отраслей промышленности, включая генерацию электрической энергии, судостроение, нефтяную и газовую и другие. ГТУ представляет собой комплекс оборудования, предназначенный для выработки электрической, а в некоторых случаях и тепловой энергии [1]. Регулирование нагрузок на ГТУ является ключевой задачей для обеспечения стабильной и надежной работы при сохранении экологических и технико-экономических показателей. Хотя существует несколько различных методов регулирования, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения, эффективное регулирование ГТУ всегда требует детального анализа особенностей конкретной установки и ее работы в конкретных условиях

Основная часть

Один из наиболее распространенных способов регулирования нагрузок ГТУ – изменение ее топливной нагрузки. Путем изменения количества топлива, которое подается в камеру сгорания, можно изменить выходную мощность установки. Этот способ наиболее эффективен, если требуется быстро регулировать нагрузки, но есть и ряд ограничений. Например, при изменении топливной нагрузки изменяется температура газов, что может привести к изменению эффективности работы турбины, ухудшению ее экологических показателей. Также этот метод требует очень точной слаженности между системой топливоснабжения и регулированием скорости

вращения вала ГТУ. В случае, если требуется повышение мощности ГТУ, можно увеличить количество топлива, поступающего на сгорание. В то же время, при уменьшении нагрузки ГТУ топливную нагрузку следует снижать.

При работе с ГТУ важно учитывать, что при изменении топливной нагрузки может измениться также и температура газов, поступающих на выходе из турбины. Это может привести к изменению параметров, контролирующих работу механических элементов системы, которые могут пострадать от перегрева или охлаждения. В связи с этим особенно важно иметь хорошо разработанную систему охлаждения, которая способна управлять температурными режимами как в целом, так и для каждого отдельного участка системы.

Также важно отметить, что при регулировании нагрузки ГТУ необходимо решать вопросы с обработкой отработавших газов и выбросов. Одним из способов решения данной проблемы может быть использование системы рекуперации тепла, которая позволяет эффективно использовать теплоотдачу при работе ГТУ. Использование рекуператоров – еще один способ регулирования нагрузки ГТУ. Рекуператоры – это устройства, которые используются для передачи тепла от газовых выбросов к воздуху, который поступает в камеру сгорания. Поскольку более горячий воздух означает более эффективное сжигание топлива, использование рекуператоров может помочь увеличить выходную мощность установки без увеличения потребления топлива.

Контрольные клапаны, подключенные к рекуператорам, управляют количеством воздуха, которое поступает в установку. Когда требуется повысить мощность, регуляторы закрывают клапан, ограничивая количество воздуха, поступающего в ГТУ и повышая давление воздуха. При уменьшении мощности, клапан открывается, что позволяет увеличить количество воздуха.

Использование рекуператоров для регулирования нагрузки ГТУ является эффективным способом управления мощностью, который позволяет экономить на расходе горючего и уменьшать вредные выбросы.

Применение таких систем может снизить потребление топлива на 10–15% при сохранении высокой эффективности работы системы.

Еще один способ регулирования нагрузки ГТУ – это использование системы внешнего охлаждения с целью увеличения мощности. Внешнее охлаждение воздуха перед его поступлением на вход в силовую турбину позволяет повысить мощность ГТУ, добавляя кислорода к перегретым газам. В то же время, при использовании системы внешнего охлаждения необходимо учитывать большую нагрузку, которую они могут оказывать на механические элементы системы.

Еще один метод регулирования нагрузок ГТУ – изменение скорости вращения турбины. Этот метод часто используется для регулирования нагрузок на генераторы, связанные с изменением потребления электроэнергии. Этот метод менее эффективен, если требуется быстрая регулировка, так как занимает больше времени.

Регулирование нагрузки газовой турбины можно осуществлять различными способами, включая регулирование скорости вращения турбины. Для этого используются регулирующие клапаны, которые пропускают определенный объем газа через турбину в зависимости от нужного уровня нагрузки.

Регулирование скорости вращения турбины может осуществляться по двум принципам: регулирование с помощью пропорциональных клапанов или с помощью регулирующих приводов. При использовании пропорциональных клапанов газовый поток пропускается через клапаны с разными диаметрами, что позволяет регулировать нагрузку в широком диапазоне. В случае использования регулирующих приводов, изменение нагрузки происходит путем изменения угла входа лопаток турбины. Этот метод более точен и позволяет достичь высокой степени регулирования.

Такое регулирование является эффективным и распространенным способом, который позволяет управлять мощностью газовой турбины в зависимости от потребностей процесса. Также этот способ может улучшить эксплуатационные характеристики газовой турбины.

В [2] рассматривается ГТУ, работающая в номинальном режиме с параметрам: электрическая мощность (N_e) составляет 45,4 МВт, электрический КПД (η_e) – 35%, температура газа перед турбиной (t_1) – 1198°C, степень сжатия (π_k) – 17, расход газов на выходе из турбины (G_b) – 164,5 кг/с, тепловая мощность (Q_T) – 58,55 Гкал/ч, располагающей тремя рядами поворотных направляющих аппаратов, включая входной направляющий аппарат (ВНА) компрессора, которые позволяют плавно запускать ГТУ и регулировать ее мощность путем изменения расхода воздуха через компрессор.

Основные характеристики осевого компрессора на рабочем режиме (при температуре наружного воздуха ($t_{нв}$) 15°C) при различных углах установки ВНА представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики осевого компрессора [2]

Угол установки ВНА	$\Delta\alpha_{\text{ВНА}}$	-25°	-12,5°	-6,25°	0°
Адиабатический КПД компрессора	$\eta_{\text{ад к}}$	0,822	0,842	0,844	0,862
Степень сжатия компрессора	π_k^*	12,253	14,582	15,546	17,06
Расход воздуха, кг/с	G_b	121,43	142,29	150,85	164,25

Из данных таблицы очевидно, что при уменьшении угла открытия входного направляющего аппарата, стабильная работа компрессора не прерывается. Однако при этом происходит снижение его показателей (адиабатический КПД падает на 4%, уменьшаются степень сжатия и расход воздуха).

Поэтому целесообразно рассмотреть варианты изменения нагрузки ГТУ при различных условиях. Например, для снижения расхода топлива и уменьшения угла установки ВНА (первая программа) и для неизменной геометрии проточной части компрессора (вторая программа).

В первом случае температура дымовых газов на выходе из турбины ($t_{\text{вых}}$) будет оставаться постоянной, а во втором регулирование параметров ГТУ происходит за счет того, что расход топлива в камеру сгорания является переменной величиной.

На рисунке 1 изображены зависимости относительных величин расхода продуктов сгорания, топлива, температуры на выходе из турбины и электрического КПД от относительной электрической мощности при использовании первой программы ($t_{\text{вых}} = \text{const}$).

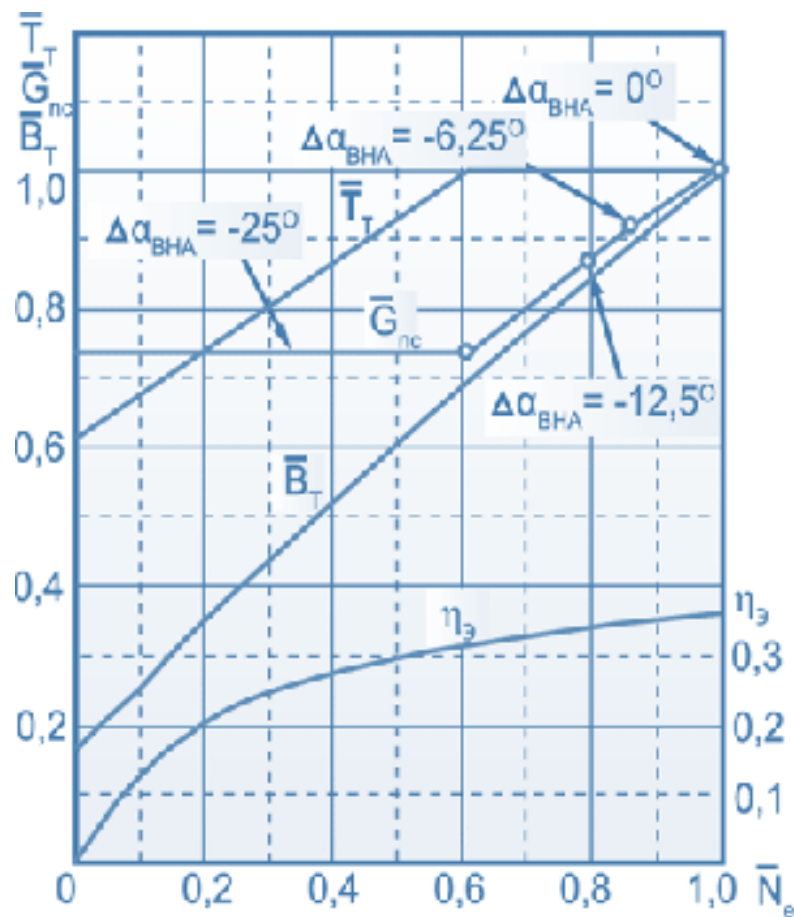


Рисунок 1 – Зависимость относительных величин расхода продуктов сгорания ($\bar{G}_{\text{ПС}}$), топлива (\bar{B}_T) и температуры (\bar{T}_T) от относительной электрической мощности (\bar{N}_e), для первой программы [2]

Сравнив технико-экономические показатели двух различных программ (рисунок 2), можно сделать вывод о том, что несмотря на то, что в первом случае более стабильная работа обеспечивается постоянной температурой на выходе из турбины, при этом одновременно увеличиваются потери в проточной части компрессора. В результате для первой и второй программ регулирования получен аналогичный электрический КПД, как при полном нагружении, так и на режимах частичной нагрузки, что говорит об одинаковой эффективности обоих методов.

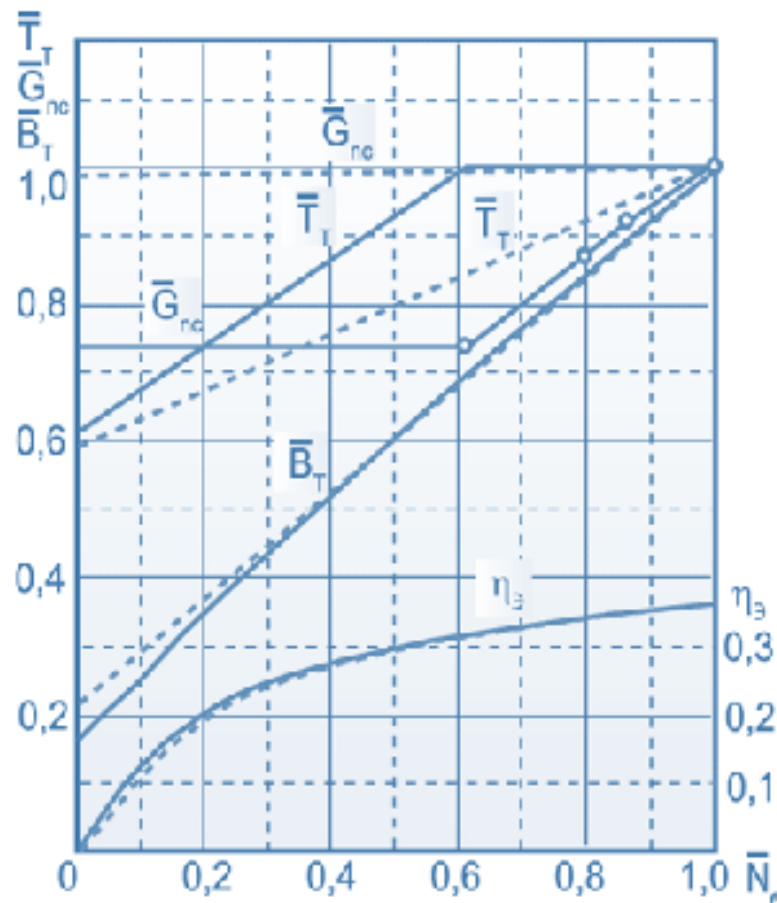


Рисунок 2 – Сравнение первой (сплошная линия) и второй (пунктирная линия) программ регулирования [2]

Заключение

Таким образом, регулирование нагрузок ГТУ является очень важным аспектом, играющим ключевую роль в обеспечении оптимальной эффективности и экономичности работы установок. Изменение топливной нагрузки, использование системы внешнего охлаждения и системы рекуперации тепла являются основными методами регулирования нагрузки ГТУ, которые могут быть применены в зависимости от условий эксплуатации и требуемых параметров работы системы.

Литература

1. Качан, С.А. К вопросу определения показателей топливоиспользования парогазовых установок / С.А. Качан, В.Н. Филазафович // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2010. – № 1. – С. 88–92.
2. Русецкий, Ю.А. Расчетное исследование работы газотурбинной установки ГТЭ-45 на режимах частичной мощности / Ю.А. Русецкий, В.А. Седунин, В.В. Ермолаев // Теплоэнергетика. – 2009. – № 2. – С. 23–25.