

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО СОПЛОВОГО АППАРАТА В СИЛОВОЙ ТУРБИНЕ ГТУ

Емельянов Н.Э.¹, Карышев А.К.² ©

¹Магистрант; ²Профессор, к.т.н.

Кафедра Тепловые двигатели и теплофизика,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Калужский филиал

Аннотация

В статье представлен обзор основных преимуществ использования регулируемого соплового аппарата в силовой турбине ГТУ. Описан принцип действия и влияние поворота лопаток на эффективность турбины. Определены задачи, которые нужно решить для успешного применения РСА в силовой турбине приводных ГТУ.

Ключевые слова: Регулируемый сопловой аппарат, силовая турбина.

Keywords: Variable area nozzles for turbine stage, power turbine.

В научно-технической литературе довольно часто упоминается о регулировании газотурбинных установок с помощью поворота лопаток соплового аппарата силовой турбины [1,32; 3,230]. Однако имеющиеся теоретические сведения и экспериментальные данные не достаточны для более полного описания его преимуществ. Именно это обстоятельство, наряду с техническими сложностями, определяет скептическое отношение к использованию РСА у отечественных производителей. В зарубежной практике турбостроения, напротив, установки с регулируемым сопловым аппаратом давно и успешно применяются.

Регулирование поворотом лопаток РСА помогает более эффективно эксплуатировать двигатель на частичных нагрузках [4,140], способствует увеличению маневренности и приспособляемости к переменным погодным условиям, приводит к снижению расхода топлива.

Поворот лопаток соплового аппарата турбины позволяет [3,231]:

- регулировать расход газа через турбину;
- изменять формы треугольников скоростей (это снижает потери в лопаточных решетках на нерасчетных режимах);
- перераспределять работу между ступенями турбины и каскадами.

Использование регулируемого соплового аппарата в силовой турбине, как второго регулирующего фактора (помимо топливного клапана), при разных программах регулирования позволяет эксплуатировать двигатель в широком диапазоне режимов без существенного снижения КПД и с минимальным расходом топлива. Это особенно актуально для ГПА, которые часто работают при переменной нагрузке.

В [6,409] описан принцип изменения расхода рабочего тела, как при использовании РСА в первой ступени силовой турбины, так и в промежуточной и последней ступенях.

Из приведенных расчетов видно, что для изменения расхода достаточно осуществить поворот лопатки СА первой ступени на определенный угол, тем самым изменив площадь проходного сечения СА. Если же РСА используется в промежуточной, либо последней ступени ССТ, то для такого же изменения расхода, потребуется поворачивать лопатки СА на больший угол, т.е. до тех пор, пока проходное сечение не изменится настолько, что перепад давления в первой ступени будет соответствовать требуемому изменению расхода. Как следствие - работа ступеней с большими углами атаки и меньшими внутренними КПД (Рисунок 1). Исходя из этого, и принимая во внимание то, что в настоящее время чаще

применяются двух- и трехступенчатые силовые турбины, более эффективным будет применение РСА в первой ступени силовой турбины.

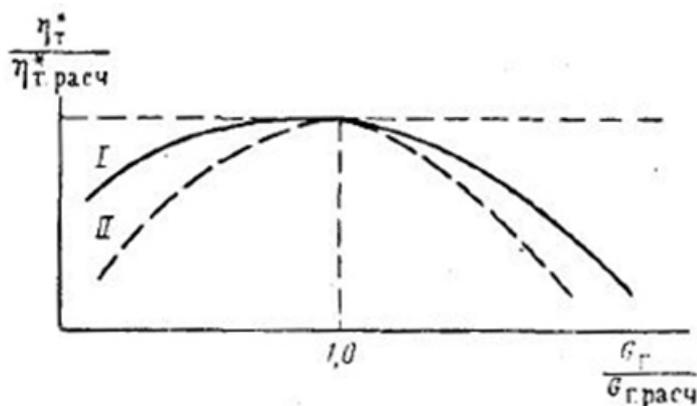


Рис. 1 – Сравнение регулирования двухступенчатой турбины поворотом лопаток РСА: I - регулируется первый СА; II - регулируется второй СА

Преимуществами установки РСА в первой ступени являются:

- изменение расхода рабочего тела не требует значительного изменения угла установки сопловых лопаток, что приводит к небольшому падению эффективности ступени и турбины;
- поворот лопаток соплового аппарата первой ступени не вызывает изменение степеней понижения давления в последующих ступенях;
- более активное влияние поворота сопловых лопаток первой ступени на характеристики турбины газогенератора и возможность изменения (поддержания) ее параметров.

При повороте сопловых лопаток турбинной ступени происходит изменение угла α_1 , а значит - угла атаки при натекании потока на рабочие лопатки и внутреннего КПД ступени. В [6,407] проанализировано влияние прикрытия либо раскрытия лопаток соплового аппарата на преобразование формы треугольников скоростей, изменение степени реактивности и удельной работы. Кроме качественного анализа, в научно-технической литературе практически не представлены количественные соотношения, отражающие влияние изменения угла α_1 на характеристики ступени турбины.

При уменьшении угла выхода из соплового аппарата снижение степени реактивности происходит на всех диаметрах турбины, что приводит к уменьшению внутреннего КПД ступени. Особенно сильно КПД начинает снижаться, после того как степень реактивности в корне уменьшается до нуля или становится отрицательной. Следовательно, диапазон регулирования в сторону прикрытия РСА ограничивается значением угла α_1 , при котором ρ близка к нулю.

Регулирование турбины с помощью РСА приводит к перераспределению работы между ступенями [3,229] (или перераспределению степеней понижения давления π_{r*}). Это явление рассматривается в связи с изменением характеристик ступени (Рисунок 2).

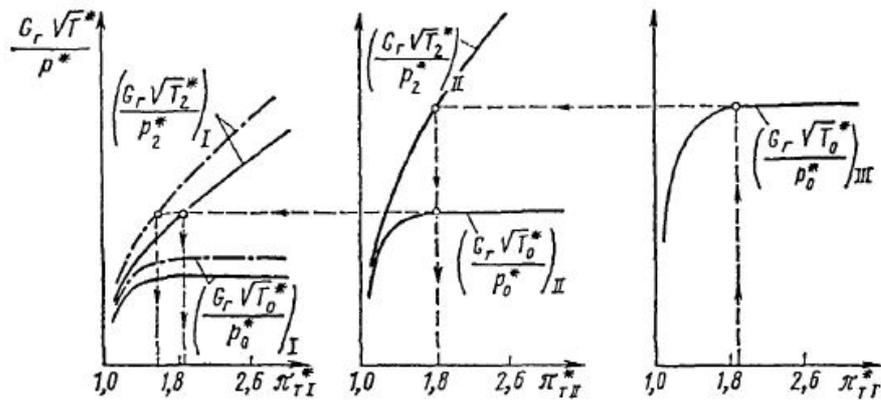


Рис. 2 – Распределение степени понижения давления по ступеням

Из рисунка следует, что при раскрытии СА ступени турбины и $G_{пр} = \text{const}$ (если расход газа через турбину ограничивается каким-либо проходным сечением) происходит резкое уменьшение ее мощности.

Таким образом, применение регулируемого соплового аппарата в силовой турбине ГТУ обладает неоспоримыми преимуществами – стабильная работа установки на переменных режимах, снижение расхода топлива на 4% в среднем за год [1,33], более высокие значение КПД на переменных режимах работы, по сравнению с регулированием только топливным клапаном. Однако, остается еще ряд проблем, которые требуют более детального решения:

- 1) При помощи экспериментов установить количественные изменения основных параметров турбин компрессора и силовой.
- 2) Разработать методику профилирования лопаток, слабо чувствительных к углам входа потока α_1 .
- 3) Создать эффективную программу регулирования двигателя, которая позволит динамически изменять положение РСА ССТ, и ВНА компрессора.
- 4) Разработать надежную конструкцию системы поворота СА, которая обеспечит работу установки на протяжении всего срока эксплуатации.

Литература

1. Варивода О.А., Васин О.Е., Ревзин Б.С. Экономический эффект от оптимизации программы регулирования в приводных ГТУ // Газотурбинные технологии, 2001, № 4, С.32–33.
2. Комаров О.В. Исследования и одномерная оптимизация проточной части свободных силовых турбин с регулируемой первой ступенью приводных ГТУ и ГТД. Автореф. дис. ... к.т.н. Екатеринбург, 2005, 24 с.
3. Нечаев Ю.Н., Федоров Р.М. Теория авиационных газотурбинных двигателей. Москва, Машиностроение, 1977. 312 с.
4. Ревзин Б.С. Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2002. 269 с.
5. Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. Москва, Машиностроение, 1986. 432 с.
6. Холщевников К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. Москва, Машиностроение, 1970. 610 с.