

позволили значительно увеличить скорость и качество (за счёт увеличения числа рассматриваемых вариантов) доводки узлов ГТД.

В представленной работе было проведено оптимизационное исследование, направленное на увеличение КПД многоступенчатого компрессора (рисунок 1) на частоте вращения, соответствующей крейсерскому режиму работы. В качестве варьируемых переменных в процессе оптимизации использовались углы установки направляющих аппаратов первых трёх ступеней. Необходимо отметить, что на диапазон изменения их значений были наложены ограничения с целью сохранения штатного замкового соединения данных лопаток. Никаких дополнительных ограничений на параметры рабочего процесса в ходе решения задачи оптимизации не накладывалось.

Для проведения оптимизационных исследований была создана параметрическая автоматизированная модель течения в компрессоре в программном комплексе *NUMECAFineTurbo*. Для параметризации использовалась программа «Профилятор» [1], разработанная на кафедре ТДЛА СГАУ. Время расчёта одной точки на характеристике компрессора с помощью данной модели составляло 4 часа.

Решение задачи оптимизации проводилось с помощью программного комплекса параллельной оптимизации IOSOPM. Для этого в сеть было объединено 5 локальных компьютеров. На рисунке 2 показана история поиска решения данной задачи. Как видно из данного рисунка, оптимизатору хватило

порядка 40 итераций, чтобы найти область максимальных решений.

В результате решения оптимизационной задачи были получены значения углов установки перьев направляющих аппаратов первых трёх ступеней компрессора. Найденный вариант модернизации компрессора позволил увеличить его КПД на 0,3% на частоте вращения, соответствующей крейсерскому режиму работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриева, И.Б. Автоматизация создания объёмной модели пера лопатки в ANSYS TurboGrid на базе традиционного представления его геометрии [Текст] / И.Б. Дмитриева, Л.С. Шаблей // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва. – Самара, 2011. – №3 (27). Часть 3. – С. 106-111.

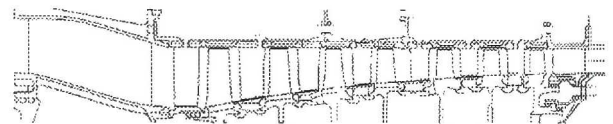


Рисунок 1 – Исследуемый КВД

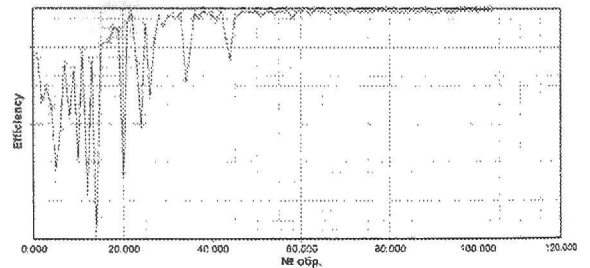


Рисунок 2 – История поиска при решении задачи оптимизации

УДК 629.7.036.34

## ОПЫТ СНИЖЕНИЯ ОКРУЖНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОТОКА ЗА СЧЁТ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛОВ УСТАНОВКИ ЛОПАТОК НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА

© 2012 Г.М. Попов, А.В. Кривцов, Д.А. Колмакова

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

# THE PRACTICE OF CIRCUMFERENTIAL VARIATION REDUCTION BY CHANGING GUIDE VANES ANGLES

© 2012 G.M. Popov, A.V. Krivcov, D.A. Kolmakova

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University)

The approaches to circumferential variation of the flow from support racks calculation and elimination are discussed. The computational model and methods for the circumferential variation of the flow determination are described. The influence of guide vane with different angles on circumferential variation of the flow is investigated.

В ряде газотурбинных двигателей в лопатках рабочих колёс (РК) компрессоров, расположенных перед стойками опоры, отмечаются высокие переменные напряжения, приводящие к их поломке. Для борьбы с данными напряжениями используются антивибрационные полки. Однако их применение снижает КПД компрессора, а также ведёт к снижению ресурса узла из-за износа контактных поверхностей. Применение же специализированного профилирования для лопаток РК, например, т.н. профиля Шварова, не всегда позволяет снизить уровень опасных напряжений. При этом необходимо помнить, что их источником является окружная неравномерность потока, вызванная обтеканием массивных стоек опоры. В данной работе исследуются подходы к снижению окружной неравномерности за счёт использования в направляющем аппарате (НА) лопаток с различными углами установки.

Объектом исследования в данной работе является компрессор газотурбинного двигателя с расположенной за ним опорой. 5 НА данного компрессора в штатном исполнении состоит из одинаковых равномерно расположенных по окружности лопаток. Для определения окружной неравномерности потока, вызванной средней опорой, была создана расчётная модель, состоящая из лопаточных венцов четвертого НА, пятого РК и НА пятой ступени компрессора среднего давления (КСД), а также средней опоры и входного направляющего аппарата компрессора высокого давления (КВД) (рис. 1). Необходимо отметить, что все лопаточные венцы моделировались не

одним межлопаточным каналом, а полной моделью проточной части по окружности. Суммарное количество элементов сетки составило 40 млн.

При моделировании в качестве граничных условий использовались эпюры распределения по высоте проточной части полного давления, полной температуры и углов потока, полученные из расчёта секторной модели КСД. В качестве интерфейса между доменами использовался интерфейс без осреднения параметров потока в окружном направлении.

В результате расчёта были определены поля распределения давления по поверхности всех лопаток 5 РК, которые затем использовались для расчёта переменных напряжений в них [1], а также построен график изменения давления в окружном направлении на среднем диаметре в сечении за РК5 (рисунок 2, пунктирная линия). На данном графике можно чётко выделить 7 пиков давления, которые соответствуют стойкам опоры.

Для снижения окружной неравномерности, вызванной стойками опоры, была проведена серия расчётов, с помощью модели, описанной выше, в которых лопатки 5 НА устанавливались под различными углами (рисунок 3) для улучшения обтекания стоек опоры. В результате расчётов было получено распределение давления в окружном направлении на среднем диаметре в сечении за РК5 (рисунок 2, сплошная линия). Как видно из рисунка, во втором случае график является более гладким: практические все пики давления, связанные со стойками, сглажены и уменьшены, что



говорит о перспективности данного подхода для борьбы с окружной неравномерностью потока.

Список использованных источников

1. Колмакова Д.А. «Расчет вынужденных колебаний лопаток рабочего колеса компрессора авиационного газотурбинного двигателя, возникающих от действия окружной неоднородности газового потока», Попов Г.М., Шкловец А.О., Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Том 14, №1(2), 2012, с.517-520

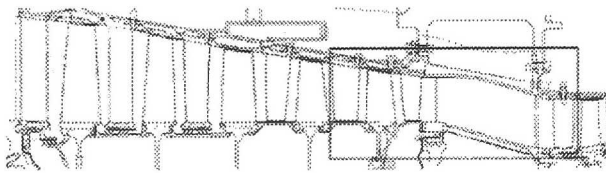


Рисунок 1-Лопаточные венцы, использующиеся для расчёта

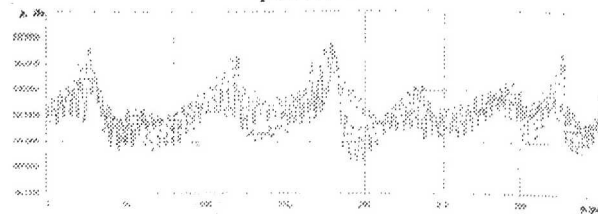


Рисунок 2 – График изменения статического давления за 5 РК

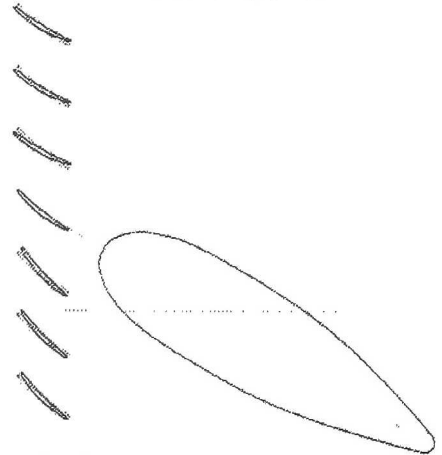


Рисунок 3 – Введённая «разноугловость» лопаток 5 НА

УДК 629.7.036.34

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ ПО БОРЬБЕ С ВЫСОКИМИ ПЕРЕМЕННЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ РАБОЧИХ ЛОПАТОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПРЕССОРОВ ГТД

© 2012 Г.М. Попов, А.В. Кривцов

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

## THE ESTIMATION OF ANTI-HIGH VARIABLE STRESSES OF ROTOR BLADES TECHNIQUE INFLUENCE ON GAS TURBINE ENGINE COMPRESSOR CHARACTERISTICS

© 2012 G.M. Popov, A.V. Krivcov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov(National Research University)

The influence of rotor blades with anti-vibration shroud and Shvarov's profile compared to conventional blades on compressor efficiency is investigated. The variation of compressor efficiency is quantitatively evaluated at 4 operation modes.

Как правило, газоздушные тракты газотурбинных двигателей содержат такие элементы, как стойки опоры. Из конструктивных соображений данные стойки по толщине значительно

превосходят рабочие и статорные лопатки компрессоров. К тому же, стойки опоры существенно деформируют поток и по этой причине являются источником повышенных динамических напряжений в