

УДК 629.7.036.34

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПОСЛЕДНЕЙ СТУПЕНИ МНОГООРУПЕНЧАТОГО КОМПРЕССОРА НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРУ ПОТОКА

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

Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Исследовано влияние на КПД компрессора применения рабочих лопаток с антивибрационными полками и профилем Шварова по сравнению с обычными лопатками. Изменение КПД компрессора количественно оценено на четырёх режимах его работы.

*Антивибрационная полка, характеристики компрессора, КПД.*

Вопрос повышенных динамических напряжений в рабочих лопатках компрессоров занимает одно из важнейших мест в общей проблеме обеспечения надёжности авиационных двигателей. Стойки опор можно отнести к основным причинам возникновения деформации потока в близлежащих лопаточных венцах и, как следствие, появления повышенных динамических напряжений в рабочих лопатках. В настоящее время существует ряд способов (как прочностных, так и газодинамических) снижения динамических напряжений [1].

Целью работы является оценка влияния методов борьбы с высокими переменными

напряжениями рабочих лопаток на характеристики компрессоров газотурбинных двигателей. В качестве объекта исследования рассматривался пятиступенчатый компрессор ГТД с расположенной за ним опорой.

В качестве базовой конструкции рассматривался компрессор с применением антивибрационной полки на рабочем колесе пятой ступени (рис. 1). В данном случае применение антивибрационной полки является вынужденным мероприятием по снижению влияния нерациональной конструкции опоры компрессора на рабочие лопатки.

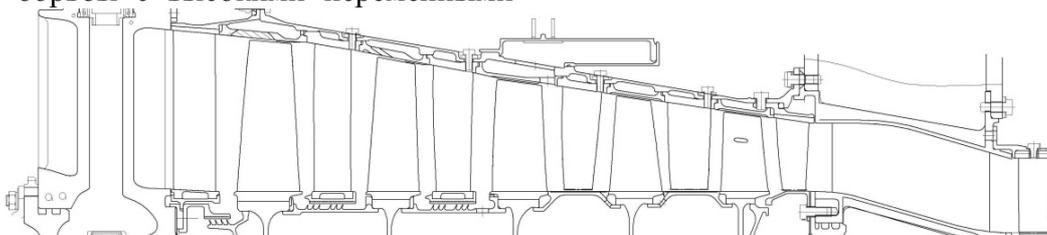


Рис. 1. Меридиональное сечение КСД универсального газогенератора

Базовая расчётная модель, созданная в соответствии с чертёжной геометрией в *NUMECA Fine Turbo*, представляет собой секторную модель компрессора, каждый лопаточный венец моделировался только одним межлопаточным каналом, с наложенными на его боковые поверхности условиями периодичности (рис. 2). При построении геометрии расчётной области моделировались галтели и радиальные зазоры.

При построении была использована сетка с топологией типа *O4H* с совпадающими узлами на поверхностях периодичности, основные параметры сетки всей расчётной области и области антивибрационной полки приведены на рис. 3 и 4, соответственно. Размер элемента ближайшего к стенке равнялся  $0,002-0,003$  мм, что позволило обеспечить фактор роста в *O*-подслое от 1 до 1,25 в зависимости от венца.



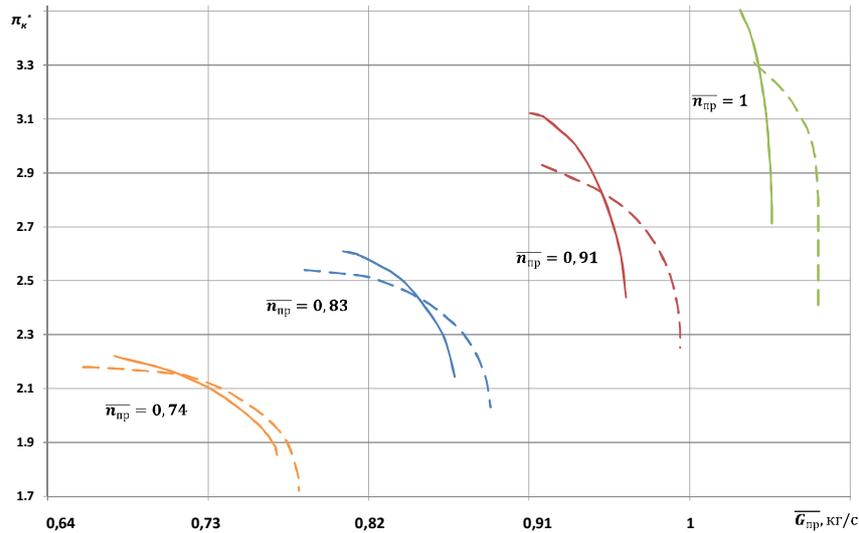


Рис. 7. Напорная характеристика базового варианта компрессора  
Сплошные линии – расчетные напорные характеристики;  
Пунктирные линии – экспериментальные напорные характеристики

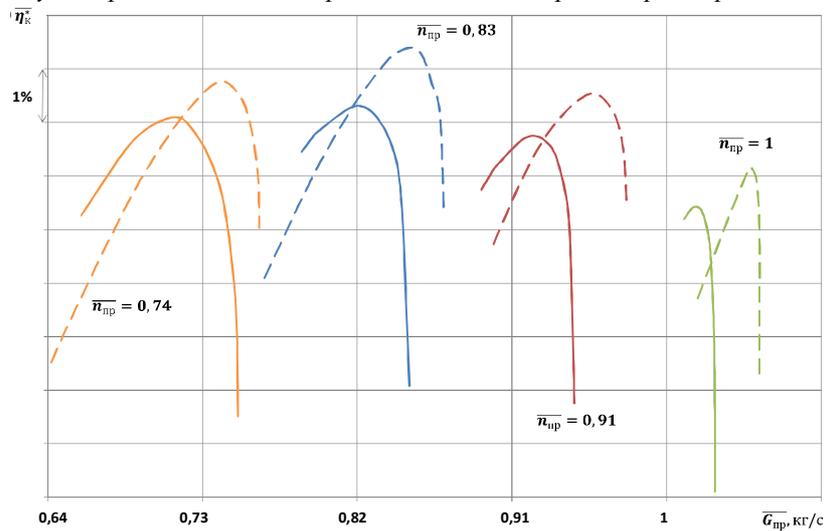


Рис. 8. Напорная характеристика базового варианта компрессора  
Сплошные линии – расчетные КПД-характеристики;  
Пунктирные линии – экспериментальные КПД-характеристики

Вместе с характеристиками в результате расчётов были получены поля распределения всех основных параметров потока во всех точках проточной части базового варианта компрессора. На рис. 9 приведены поля чисел Маха в относительном движении для каждого ЛВ. На рис. 10 приведено значение параметра  $y^+$  на стенках расчётной области. На рис. 11 - значение параметра  $y^+$  вблизи антивибрационной полки. Среднее значение  $y^+$  по всей расчётной области составляет 1,1, максимальное не превышает 5,1, что говорит о высоком качестве построенной расчётной сетки.

В качестве альтернативных методов по борьбе с высокими переменными напряжениями рабочих лопаток были

рассмотрены два варианта изменения проточной части компрессора:

1. Применение профиля Шварова для рабочих лопаток пятой ступени.
2. Использование лопаток пятого направляющего аппарата с различными углами установки.

Для оценки КПД изменённых вариантов проточной части компрессора были построены две расчётные модели, отличающиеся от базовой модели только указанными выше моментами.

Однако для второго варианта модернизации следует отметить, что введение «разноугловицы» незначительно повлияет на интегральное распределение параметров между лопаточными венцами. Кроме того, данный вариант модернизации позволяет отказаться от применения

антивибрационной полки на пятом рабочем колесе.

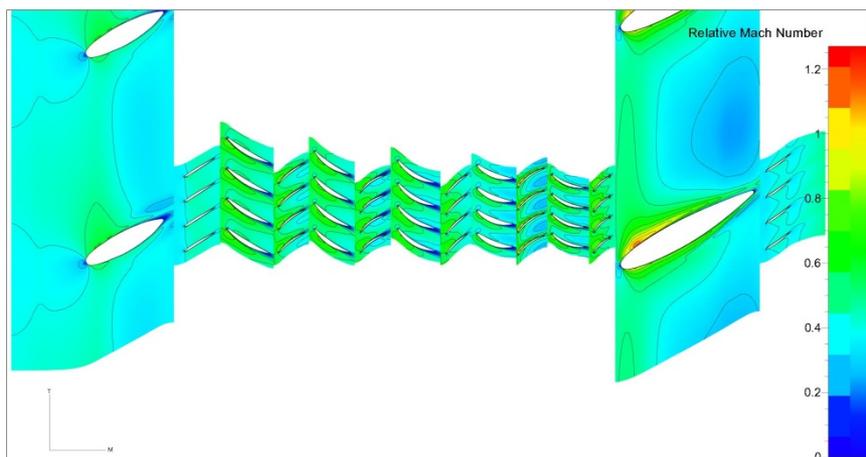


Рис. 9. Поле относительных чисел Маха в базовом варианте компрессора в сечении 5% по высоте проточной части

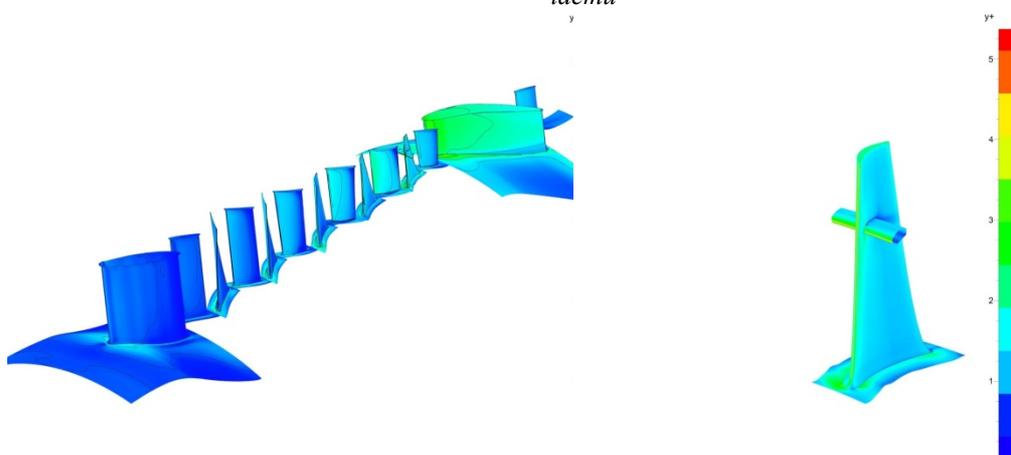


Рис. 10. Распределение параметра  $u^+$  в расчётной области

Для всех изменённых вариантов исполнения компрессора расчётным путём были получены напорная и КПД характеристики на четырёх режимах работы (рис. 12 и 13). Для сравнения на рисунках приведены напорная и КПД характеристики базового варианта исполнения компрессора.

Из анализа напорных веток следует, что для всех вариантов геометрии характер протекания напорных кривых практически одинаков. Для базового варианта и варианта проточной части компрессора с профилем Шварова на 5РК наблюдается снижение приведённого расхода через компрессор по сравнению с вариантом конструкции без антивибрационной полки. Причём снижение расхода сильнее проявляется при низких оборотах.

Рис. 11. Распределение параметра  $u^+$  на лопатке 5РК с антивибрационной полкой

Что касается КПД-характеристики, то здесь можно говорить о приросте КПД на 0,2% при применении профиля Шварова и о приросте КПД компрессора от 0,5% (на высоких режимах работы) до 1% (на низких режимах) при отказе от антивибрационной полки.

Что касается сравнения модернизированных вариантов между собой, то из графиков следует, что применение профиля Шварова позволяет избежать таких значительных проигрышей в КПД: на высоких режимах работы профиль Шварова практически не проигрывает обычной лопатке, на низких режимах применение профиля Шварова приводит к снижению КПД компрессора примерно на 0,5%.

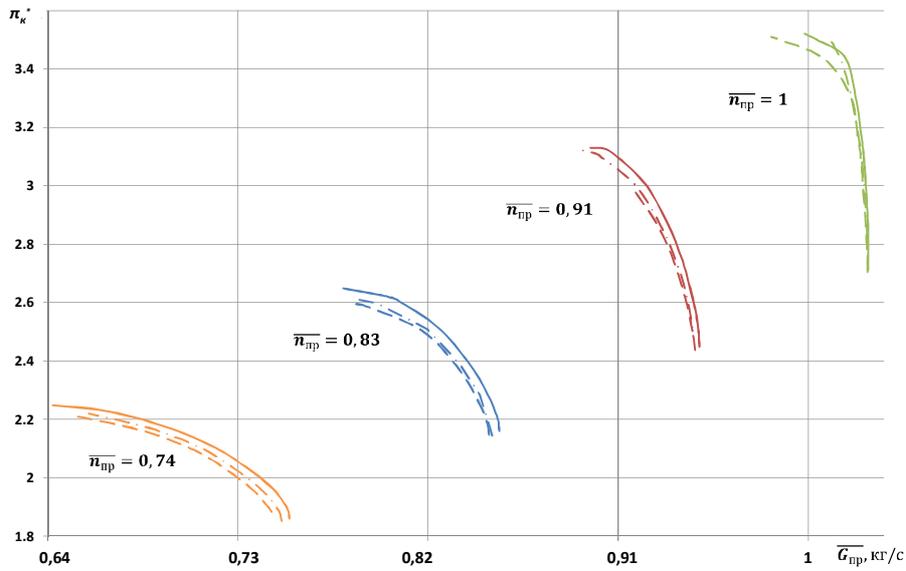


Рис. 12. Сравнение напорных характеристик базового и модернизированных вариантов компрессора  
 Штрихпунктирные линии – напорные характеристики базового варианта компрессора  
 Сплошные линии – напорные характеристики компрессора без антивибрационной полки на 5РК;  
 Пунктирные линии – напорные характеристики компрессора с профилем Шварова на 5РК

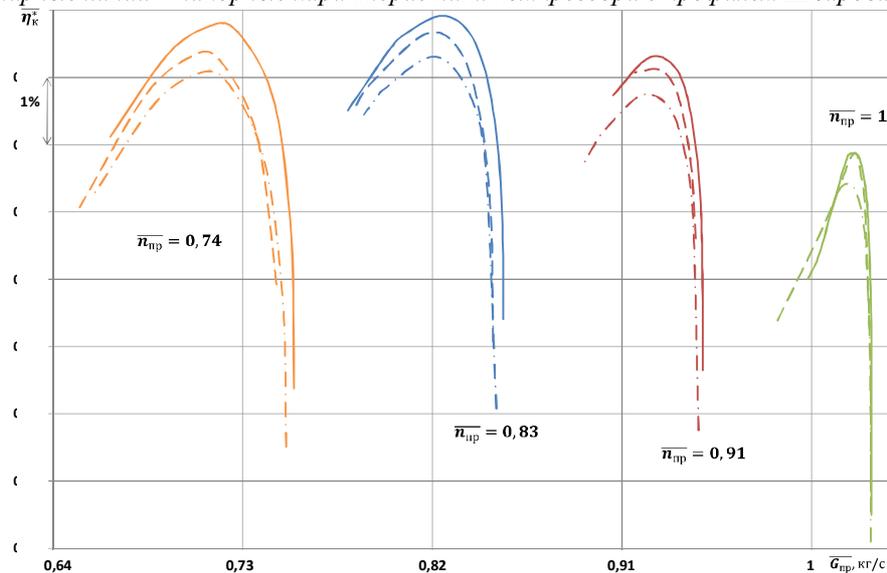


Рис. 13. Сравнение КПД-характеристик базового и модернизированных вариантов компрессора  
 Штрихпунктирные линии – КПД-характеристики базового варианта компрессора  
 Сплошные линии – КПД-характеристики компрессора без антивибрационной полки на 5РК;  
 Пунктирные линии – КПД-характеристики компрессора с профилем Шварова на 5РК

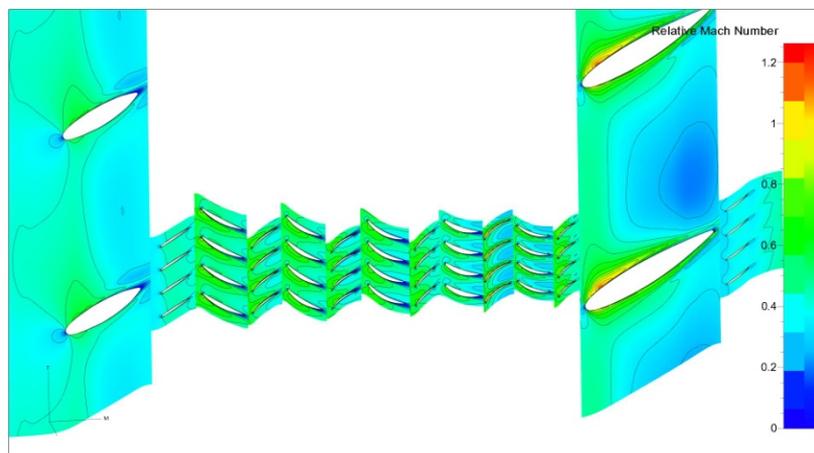


Рис. 14. Поле относительных чисел Маха в КСД без антивибрационной полки на 5РК в сечении 5% по высоте проточной части

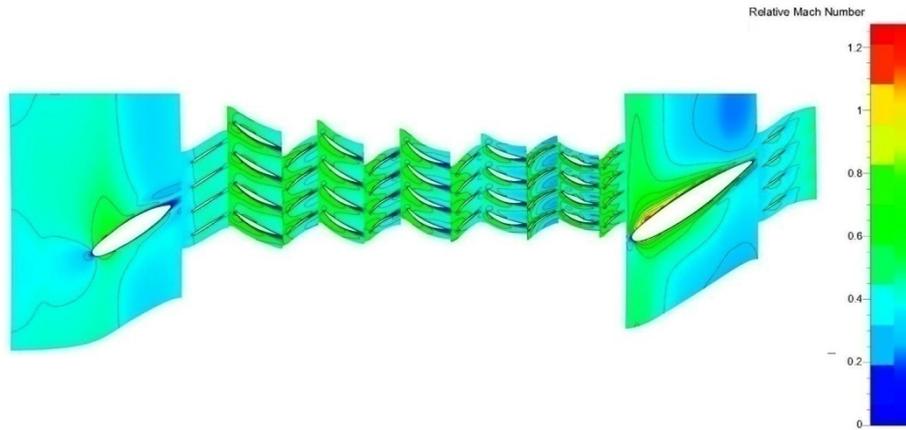


Рис. 15. Поле относительных чисел Маха в КСД с профилем Шварова на 5РК в сечении 5% по высоте проточной части

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании

Постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

#### Библиографический список

1. Шкловец, А.О. Расчет вынужденных колебаний лопаток рабочего колеса компрессора авиационного газотурбинного двигателя, возникающих от действия

окружной неоднородности газового потока [Текст] / А.О. Шкловец, Г.М. Попов, Д.А. Колмакова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - Том 14, №1(2). – 2012. - С.517-520.

### INVESTIGATION OF EFFECTS OF MULTISTAGE COMPRESSOR FINAL STAGE BLADING SHAPE ON COMPRESSOR PERFORMANCE AND FLOW PATTERN

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

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.

*Anti-vibration shroud, the compressor characteristics, efficiency.*

#### Информация об авторах

**Попов Григорий Михайлович**, инженер, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: grishatty@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы в лопаточных машинах, вычислительная газовая динамика, рабочие процессы ВРД.

**Кривцов Александр Васильевич** магистрант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: a200009@rambler.ru. Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

**Колмакова Дарья Алексеевна**, магистрант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kolmakova.daria@gmail.com. Область научных

интересов: рабочие процессы в лопаточных машинах, вычислительная газовая динамика, рабочие процессы ВРД.

**Popov Grigory Mikhailovich**, engineer, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: grishatty@gmail.com. Area of research: workflows in turbomachines, computational fluid dynamics, work processes of the jet engines.

**Krivtsov Alexander Vasileevich**, magistrand, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: krivcov63@mail.ru. Area of research: blade machines, numerical calculations, processes of heat exchange and diffusion.

**Kolmakov Daria Alekseevna**, magistrand, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), e-mail: kolmakova.daria@gmail.com. Area of research: workflows in turbomachines, computational fluid dynamics, work processes of the jet engines.