

УДК 621.7

## **МНОГОДИСЦИПЛИНАРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЧНОСТИ И АЭРОДИНАМИКИ ТУРБИНЫ КОМПРЕССОРА И СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ ТУРБОВАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛИ ИХ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА**

© Горячкин Е.С., Корнеева А.И., Попов Г.М.

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail:goriachkin.e.s@gmail.com

В работе описываются результаты проектирования турбины компрессора и свободной турбины турбовального двигателя. Обе турбины были осевые и неохлаждаемые. Проектирование проводилось с применением связанной многодисциплинарной аэродинамической и прочностной оптимизации.

В качестве исходного варианта турбины были использованы варианты, спроектированные по традиционной схеме, то есть при последовательном проектировании от 1D до 3D уровней моделирования. В процессе доводки двигателя, для которого предназначались турбины, возникла необходимость в повышении температуры газа на входе в первый сопловой аппарат. Проверка вариантов турбины с повышенной температурой показала, что КПД сохранился на достаточно высоком уровне, но запасы по прочности стали существенно меньше допустимой. Запас местной длительной прочности турбины компрессора ниже минимального в 2 раза, а свободной турбины – в 1,3 раза.

Для доводки турбин под изменившиеся условия работы было решено использовать многодисциплинарную многокритериальную оптимизацию [1; 2]. При этом моделирование аэродинамики выполнялось с использованием 3D численного моделирования рабочего процесса турбин, а оценка прочностного состояния рабочих лопаток выполнялось с помощью 3D прочностных моделей лопаток турбин, позволяющих вычислять показатели их статической и динамической прочности [1].

Доводка свободной турбины выполнялось поэтапно. На первом этапе был выполнен анализ возможных конструктивных исполнений свободной турбины. Для этого параллельно выполнялась оптимизация турбины в вариантах с бандажной полкой и без нее. В качестве варьируемых параметров задавались переменные, описывающие форму пера лопаток СА и РК, а также смещения контрольных сечений в осевом и окружном направлениях (всего 101 варьируемая переменная). Для варианта без бандажной полки дополнительно была решена задача оптимизации, где в дополнительно к перечисленным параметрам менялась форма, описывающая меридиональные обводы проточной части (всего 124 варьируемых переменных).

Перед выполнением многодисциплинарной оптимизации свободной турбины отдельно выполнялась оптимизация рабочей лопатки исключительно по прочностным критериям. При этом получался вариант турбины с удовлетворительным запасом прочности, но с пониженным КПД. Он использовался в качестве стартовой точки для многодисциплинарной оптимизации.

При решении задачи многодисциплинарной оптимизации [2] свободной турбины в качестве критериев задавались КПД и масса лопаток РК. В качестве ограничений – коэффициенты запаса прочности рабочего колеса и газодинамические параметры турбины (расход рабочего тела, закрутка потока на выходе и др.). Также при решении

задачи контролировалась минимальная толщина профилей лопаток и волнистость профилей.

Лучшие результаты оптимизации свободной турбины были получены для варианта с бандажной полкой без изменения меридиональной формы. Для данного варианта решение было продолжено на втором этапе. При этом задача решалась параллельно в нескольких постановках с использованием различных схем параметризации сечений лопаток. В качестве окончательного решения был получен вариант свободной турбины с требуемым запасом прочности и с КПД на 1,3 % больше, чем у исходного варианта.

Оптимизация турбины компрессора выполнялась аналогично свободной турбине, но без бандажной полки и изменения меридиональной формы проточной части. В результате удалось получить вариант турбины компрессора с КПД на 0,3 % больше, чем у исходного варианта, и с требуемым запасом прочности.

Для оценки искажения температурных полей за первой турбиной на КПД и прочности свободной турбины на заключительном этапе работы была выполнена многодисциплинарная оптимизация с использованием связанной модели турбин компрессора и свободной турбины с учетом аэродинамики и прочности их рабочих колес. Результаты работы показаны на рисунке.

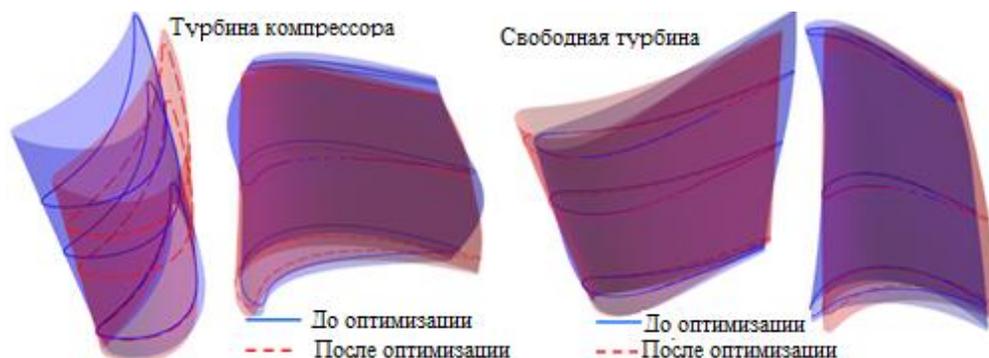


Рис. Сравнение профилей лопаток турбины компрессора и свободной турбины до и после совместной оптимизации

### Библиографический список

1. Marchukov E., Egorov I., Popov G., Salnikov A., Goriachkin E., Kolmakova D. Multidisciplinary optimization of the working process of uncooled axial turbine according to efficiency and strength criteria // Proceedings of ASME Turbo Expo 2017. GT2017 64843, 2017.
2. IOSO Optimization Technology. Access mode: <http://www.iosotech.com>.