

СГЛАЖИВАНИЕ КРИВИЗНЫ ПРОФИЛЯ РАБОЧИХ И СОПЛОВЫХ ЛОПАТОК

Е.В. Николаев, Д.В. Ефремов, А.А. Волков, Добровольский В.В.
ПАО «ОДК-Кузнецов»

Ключевые слова: проектирование электронно-геометрических моделей, САПР.

Одной из наиболее важных задач перед предприятиями, занимающимися разработкой газотурбинных силовых установок, является непрерывное повышение характеристик изделия. На ряду с ведущими мировыми организациями отрасли ПАО «ОДК-Кузнецов» использует электронно-геометрические модели изделия. Для проектирования и выпуска рабочей конструкторской и технологической документации широко используются САД, САМ модули САПР. Для оценки параметров изделия и его технологичности применяются расчетные САЕ модули.

При внедрении самых современных САПР в процессы проектирования ДСЕ стало возможным проведение глубокого анализа геометрии и выявление ошибок, недостатков, заложенных в уже существующую рабочую конструкторскую документацию, исключение недостатков во вновь разрабатываемой документации, связанных с производственной точностью оборудования на котором выполнялся процесс изготовления и контроля деталей, выпускаемых с 80-х годов.

В рамках данной работы проведено исследование геометрии на примере рабочей лопатки турбины высокого давления. Проработана электронная геометрическая модель, устранены исправлены конструктивные недостатки, сдерживающие применение полного потенциала современных расчетных комплексов (САЕ), механообрабатывающих и контрольных комплексов (САМ), задействованных при изготовлении профилированных деталей со сложной геометрией на предприятии.

При анализе электронно-геометрической модели рабочей лопатки, построенной по серийному чертежу, было обнаружено, что кривизна профиля пера может быть сглажена. Эпюры кривизны базовых сечений пера представлены на рисунке 1.

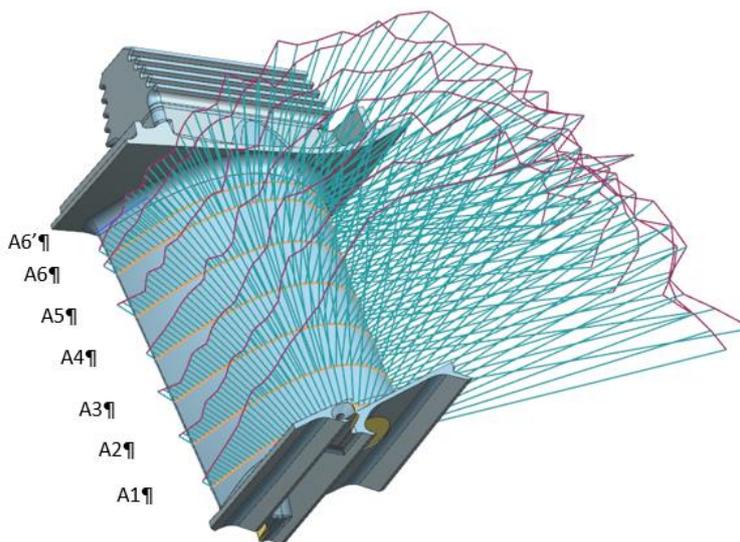


Рисунок 1 – Эпюры кривизны базовых сечений профиля пера

Из рисунка 1 видна качественная неравномерность эпюры кривизны спинки профиля пера лопатки при перемещении от входной кромки к выходной. Наличие представленной неравномерности оказывает неблагоприятное влияние на параметры эффективности венца вследствие утолщения пограничного слоя при обтекании профиля пера лопатки, что в конечном итоге приводит к изменению параметров ступени, а также параметров потока, поступающих на следующую ступень, пересогласованию работы ступеней и двигателя в целом.

При использовании новейших инструментов автоматического проектирования удалось произвести оптимизацию кривизны профиля пера рабочей лопатки. В автоматическом режиме произведено перемещение соседних точек сплайна относительно друг друга в каждом базовом сечении с допуском 0,1 мм и найдено их новое оптимальное расположение. На рисунке 2 показаны эпюры кривизны в сечении A2-A2.

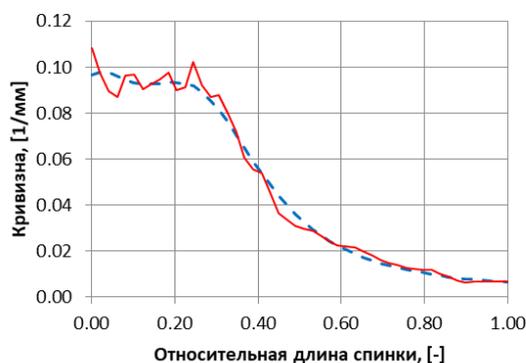


Рисунок 2 – Эпюры кривизны:
 — базового профиля
 - - - оптимизированного профиля

Базовое сечение пера	A1-A1	A2-A2	A3-A3	A4-A4	A5-A5	A6-A6	A6'-A6'
Среднее значение перемещения точек в сечении относительно их базового положения, мм	0,04	0,05	0,06	0,06	0,04	0,05	0,05

Исходная кривая профиля лопатки (спинка или корытце) описывается рациональной кривой Безье, затем выполняется коррекция коэффициентов кривой, обеспечивающих изменение кривизны без изменения положения опорных точек для обеспечения гладкого протекания кривой кривизны.

Таким образом, эпюры базовых сечений профиля пера после оптимизации имеют вид (рисунок 3):

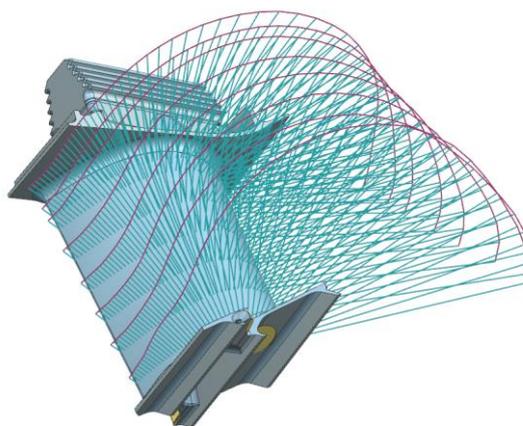


Рисунок 3 – Эпюры кривизны базовых сечений профиля пера после сглаживания

Подготовлена модель и произведены газодинамические расчеты в программном комплексе Numesa Fine Turbo для оценки влияния оптимизированного профиля лопатки на основные характеристики ступени. Модель разбита на 2000000 конечных элементов, заданы граничные условия (рисунок 4). Численная модель представляет собой венец рабочей лопатки,

для учета соплового аппарата на входной границе заданы эпюры параметров потока, взятые с расчетной модели, в которой учитывался сопловой аппарат.

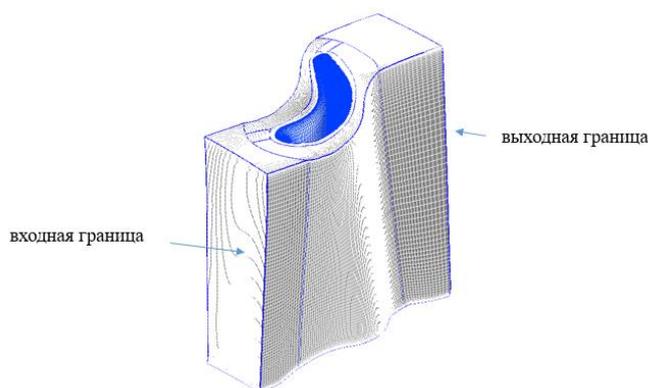


Рисунок 4 – Расчетная модель

По результатам газодинамического расчета зафиксировано повышение КПД ступени с оптимизированным профилем пера рабочей лопатки на 0,2 % относительно базового профиля пера. Распределение коэффициента скорости в венце рабочей лопатки представлено на рисунке 5.

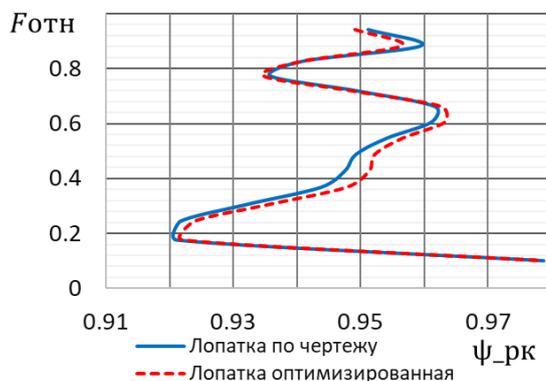
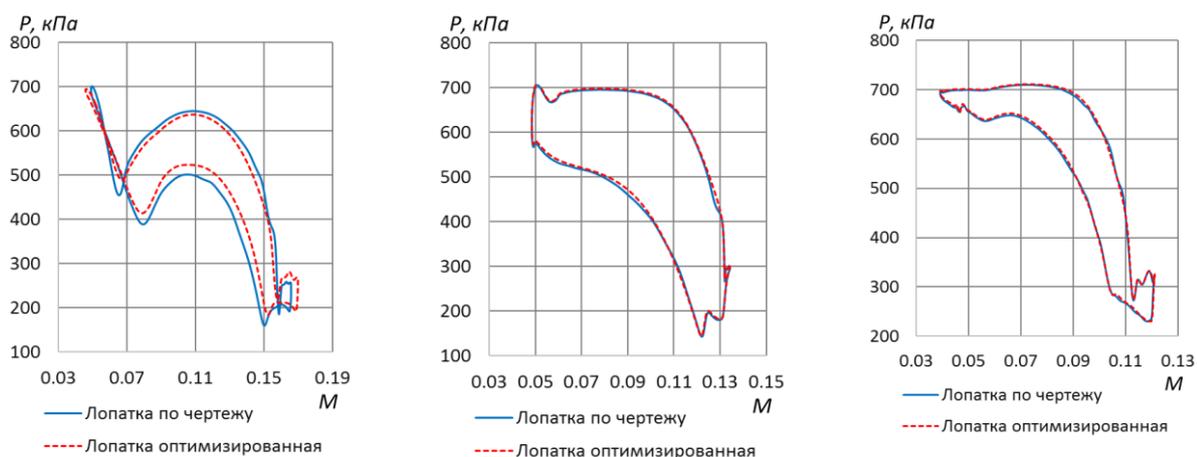


Рисунок 5 – Распределение коэффициента скорости по высоте лопатки

Отмечается так же более плавное распределение давления газа по профилю во всех сечениях по высоте проточной части (рисунок 6).



Сечение 5% высоты лопатки

Сечение 50% высоты лопатки

Сечение 95% высоты лопатки

Рисунок 6 – Распределение давления по профилю в контрольных сечениях по высоте пера лопатки

Таким образом, с целью обеспечения стабильности геометрических параметров сложных поверхностей при изготовлении и контроле турбинных и компрессорных лопаток ротора и статора целесообразно использовать сглаженный (оптимизированный) профиль для

разработки технологической документации и составления управляющих программ (рисунок 7) при механической обработке ДСЕ, а также литейной и штамповой оснастки.

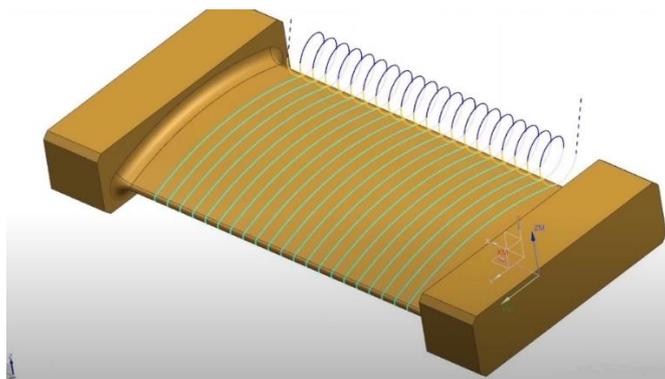


Рисунок 7 – Модель управляющей программы

Вывод: детальное изучение уже имеющихся в арсенале конструктора и технолога современных инструментов САПР при проектировании ДСЕ, проведение экспериментов и разработка новых методик построения геометрии позволит значительно улучшить конструктивные характеристики изделия и минимизировать отклонения при изготовлении основных деталей влияющих на характеристики лопаточных машин.

Использование таких инструментов при проектировании лопаточных машин является необходимым, так как вся решетка проточной части двигателя состоит из профилированных деталей – сопловых и рабочих лопаток. При оптимизации всех ступеней компрессора и турбины – в совокупности может быть получен значительный прирост основных характеристик изделия.

SMOOTHING THE CURVATURE OF THE PROFILE OF WORKING AND NOZZLE BLADES

E.V. Nikolaev, D.V. Efremov, A.A. Volkov, V.V. Dobrovolsky.
JSC "Kuznetsov"

Keywords: design of electronic geometric models, computer aided engineering system.