

---

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБИННЫХ РЕШЕТОК**

**Л.В. Виноградов, А.Е. Анашкин**

Кафедра комбинированных ДВС  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198*

Представлена система автоматизированного проектирования турбинных решеток методом парабол.

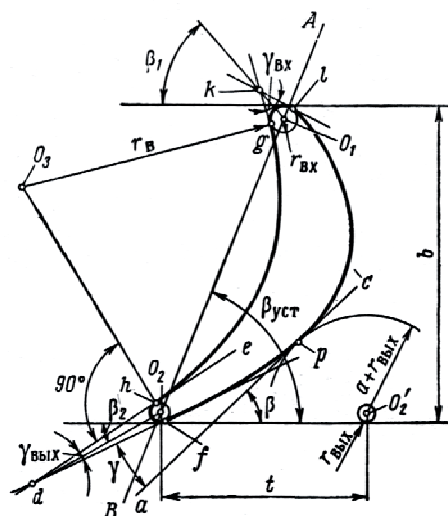
Профилирование лопаток турбин является одной из основных задач при конструировании паровых и газовых турбин различного назначения. Как правило, исходными данными для построения профиля (обводов) лопатки являются результаты газодинамического расчета ступени турбины — соплового аппарата и турбинной решетки. Разрабатываемый профиль лопатки должен удовлетворять большому числу требований как аэродинамических, так и прочностных.

К числу аэродинамических требований, в частности, относятся условия: обеспечение заданной густоты решетки и определенных углов входа и выхода потока, угла установки профиля в решетке, получение плавно сужающегося межлопаточного канала с малой кривизной или даже прямолинейным участком на выходе со стороны выпуклой части профиля и т.д.

В настоящее время существуют различные подходы к профилированию сопловых и рабочих лопаток турбин. Профили лопаток очерчиваются одной или двумя параболой, сопряженными окружностями, одной или несколькими лемнискатами Бернулли, кривой Безье и т.д. Одним из известных методов построения обводов лопаток турбин является метод парабол подробно рассмотренный в работе [1]. Метод — графоаналитический, т.е. предусматривает при конструировании профиля применения расчетных и ручных графических процедур. Следует отметить, что графоаналитические методы не могут обеспечить необходимой точности определения координат профиля, проблемы возникают при многовариантных построениях и т.д.

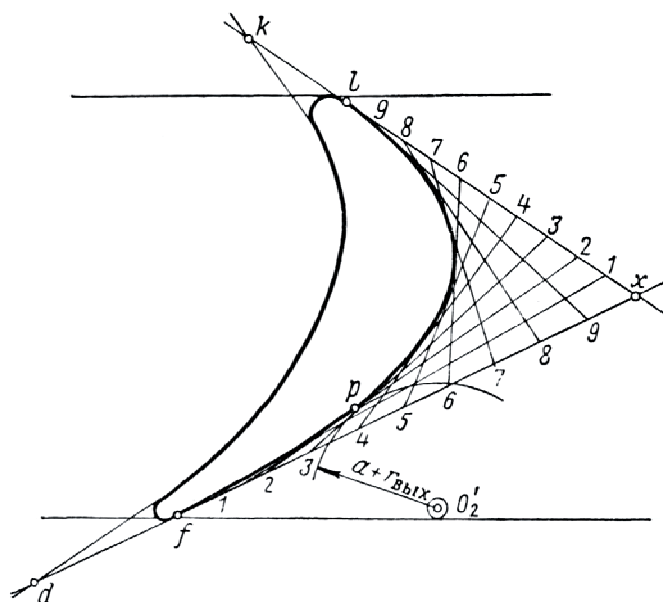
В настоящей работе была поставлена цель — метод парабол [1] реализовать на ПЭВМ. Для осуществления цели была разработана система автоматизированного проектирования (CAD система) построения профиля лопатки и решетки турбинных профилей в интегрированной среде MathCAD.

За основу была взята расчетная схема профиля лопатки рис. 1 из работы [1]. Как отмечалось ранее, основная часть параметров является результатом теплового и газодинамического расчета турбинной ступени, в частности, треугольников скоростей. По методу парабол [1] выпуклая часть профиля (спинка) строится в виде параболы, которая является огибающей сетки касательных (рис. 2).



**Рис. 1.** Спинка профиля лопатки как огибающая касательных

Источник: [1]



**Рис. 2.** Спинка профиля лопатки как огибающая касательных

Источник: [1]

Разработанная CAD система профилирования лопатки и решетки турбинных профилей (рис. 3) построена по модульному принципу — каждая программная единица выполняет свою определенную функцию.

*ID-profl\_lptk\_trbn.mcd* — программа ввода исходных данных, которая формирует текстовый структурированный файл — матрицу *Mid1.prn*.

*Pp-lptk\_shm.mcd* — подпрограмма формирует матрицу в параметрическом виде геометрических характеристик основных расчетных точек профиля.

*Krt\_rds1.mcd* — подпрограмма в параметрическом виде строит вогнутую часть профиля (корытце). Вогнутая часть, как один из возможных вариантов, выполнена окружностью одного радиуса.

*Pp-par\_med\_spnk.mcd* — подпрограмма в параметрическом виде формирует матрицы для построения спинки профиля в виде параболы.

*R\_par\_med\_spnk.mcd* — подпрограмма формирует единую матрицу координат спинки. Проводит сплайн — аппроксимацию координат спинки. Формирует матрицу координат параболической спинки профиля на 100 интервалах по оси  $x$  и результаты записывает в текстовой структурированный файл *OUT\_MATR1.prn*

*OUTD\_mtrx\_spnk.mcd* — программа строит профиль и решетку профилей по заданным исходным параметрам.

Блок программ и их тексты для построения собственно параболического участка приведены в работе [2].

Основными исходными параметрами решетки профилей являются:  $b$  — хорда профиля;  $b = b/t$  — густота решетки;  $t = t/b$  — относительный шаг решетки;  $\gamma$  — угол установки профиля в решетке;  $\beta_{1л}$  — входной угол профиля лопатки, образованный касательной к средней линии профиля в его входной части и передним фронтом решетки;  $\beta_{2л}$  — выходной угол профиля лопатки, образованный касательной к средней линии профиля в его выходной части и задним фронтом решетки;  $s$  — ширина решетки;  $a$  — горло межлопаточного канала (минимальное расстояние между двумя соседними лопатками);  $\beta_1$  и  $\beta_2$  — действительные газовые углы, соответствующие направлению потока на входе и выходе;  $\delta$  — угол отставания потока;  $i$  — угол атаки;  $\delta_n$  — угол отгиба (затылочный угол);  $r_1$  и  $r_2$  — радиусы входной и выходной кромок профиля (обозначения [1]).

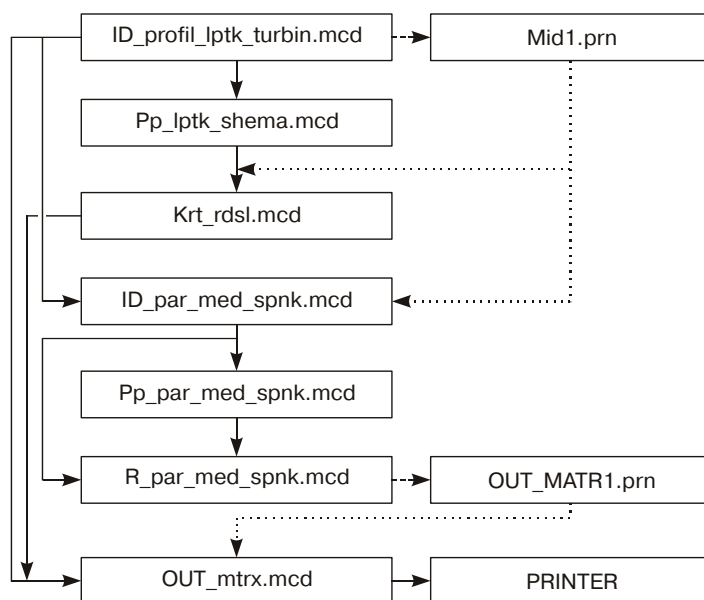
Выходными параметрами, кроме перечисленных выше исходных параметров, положенных в процедуру профилирования, являются: профиль поперечного сечения лопатки, решетка профилей (рис. 4), матрица координат спинки и корытца профиля, а также графические образы построенного профиля и решетки.

Представленная на рис. 4 решетка спроектирована на следующие параметры: ширина профиля 75 мм, угол установки профиля в решетке  $67^\circ$ , угол на входе в решетку  $46^\circ$ , угол на выходе  $28^\circ$ , относительный шаг решетки 0,7.

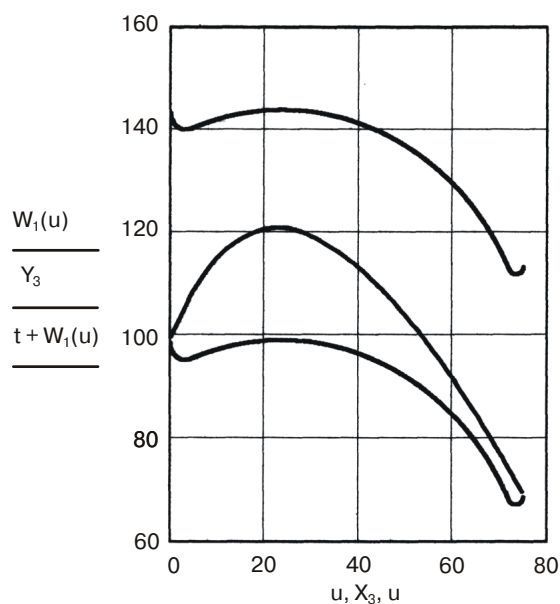
Проведенная работа позволяет сделать определенные выводы.

Разработана система автоматизированного проектирования профиля лопатки турбины по методу парабол и решетки профилей, включающая шесть программных модулей (*ID-profl\_lptk\_trbn.mcd*, *Pp-lptk\_shm.mcd*, *Krt\_rds1.mcd*, *Pp-par\_med\_spnk.mcd*, *R\_par\_med\_spnk.mcd*, *OUTD\_mtrx\_spnk.mcd*) и два текстовых структурированных файла (*Mid1.prn*, *OUT\_MATR1.prn*).

Таким образом, предложенная система позволяет спроектировать профиль и решетку профилей по заданным исходным параметрам и получить матрицу координат для построения профиля и решетки в других системах.



**Рис. 3.** Схема CAD системы профилирования решетки турбинных профилей



**Рис. 4.** Решетка турбинных профилей, спроектированная с использованием автоматизированной системы

Так как CAD система профилирования турбинной решетки построена по модульному принципу, это позволяет совершенствовать уже разработанные программные модули, без нарушения работоспособности разработанных программных моделей дополнять систему новыми модулями и развивать систему автоматизированного проектирования.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] *Жирицкий Г.С., Локай В.И., МаксUTOва М.К., Стрункин В.А.* Газовые турбины двигателей летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1971.
- [2] *Виноградов Л.В.* Система автоматизированного проектирования параболического контура // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2004. — № 1 (8). — С. 43—47.

## **CAD-SYSTEM OF PROFILING OF A TURBINE CASCADE**

**L.V. Vinogradov, A.E. Anashkin**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

In article the CAD-system of profiling of elements of the turbine is considered.