

Г. В. Тавленко

Профилирование

лопаток

турбины

ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ

Инструкция к использованию программ ocl1.exe и gftl1.exe

Исходными данными для профилирования лопаток турбинной ступени по высоте лопатки являются результаты газодинамического расчета ступени (ступеней) турбины на среднем радиусе по программе gdrgt.exe.

Содержание файла исходных данных ocl1.dat программы ocl1.exe приведено в таблице 1.

Таблица 1.

12.03.99	0	1	1.315	290.	Дата, nr, kz, kr, Rr
246	246	018	.026		D1c, D2c, h1, h2
920	952	1.010	350		fi, psi, J1, Rotc
189.00	187.00	636.00	34.00		C1ac, C2ac, C1uc, C2uc
16.60	51.80	19.80	3.54	3.54	alf1c, be1c, be2c, G1, G2
90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	alf0i
37800.0	1030.				n, T2*

Лопатка РК - nr=1, лопатка СА - nr=0

Закон крутки: 0 - C1u*r=const, C2u*r=const;

(kz) 1 - alf1(r)=const, L(r)=const;

2 - alf1(r)=const, be2(r)=const.

Величины, численные значения которых приведены в ocl1.dat, указаны в правой части файла: после даты следуют идентификаторы профилируемых лопаток ступени (СА или РК, nr=0 или nr=1) и выбранного закона крутки потока по радиусу (kz=0,1,2); далее - значения k и R рабочего газа (показатель изэнтропии и газовая постоянная в Дж/(кг*К)); D1c, D2c, h1, h2 - значения средних диаметров и высот рабочей лопатки в м. на входе и на выходе из рабочего колеса; fi, psi, J1, Rotc - значения коэффициентов скорости в решетках СА и РК, приведенной скорости на выходе из СА и термодинамической степени реактивности на среднем радиусе; C1ac, C2ac, C1uc и C2uc - расходные и окружные составляющие абсолютной скорости потока на входе и на выходе из рабочей решетки; alf1c, be1c, be2c - углы потока альфа1, бета1 и бета2 на среднем радиусе в гр.; G1 и G2 - расход газа на входе и на выходе из рабочей решетки в кг/с; alf0i - массив значений аэродинамических углов альфа0 в пяти сечениях по высоте лопатки на входе в решетку СА в гр. (значения массива либо задаются (например, при профилировании лопаток СА 1-ой ступени) либо принимаются по определению параметров потока при профилировании РК предыдущей ступени); n - частота вращения ротора в об/мин и T2* - заторможенная температура на выходе из РК в К.

По данным файла ocl1.dat результаты расчета параметров потока в пяти сечениях по высоте лопатки, полученные с использованием программы ocl1.exe имеют вид приведенный в таблице 2.

Таблица 2.

Дата	12.3.99	NR=0	KZ=1	Kr=1.315	Rr=290.0
D1cp=	2460	D2cp=	2460	h1=	.0180
h2=	.0260	C1acp=	189.00	C2acp=	187.00
C1ucp=	636.00	C2ucp=	34.00	alf1c=	16.60
be1cp=	51.80	be2cp=	19.80	alf0=	90.00
90.00	90.00	90.00	90.00	J1=	1.010
Phi=	920	Psi=	952	Rotc=	350
n=	37800.0	T2*=	1030.0		

Изменение параметров потока по радиусу

Параметр	Сечение по высоте лопатки				
	1(пер)	2	3(ср)	4	5(вт)
r	.1340	.1285	.1230	.1175	.1120
ro	1.000	.9590	.9179	.8769	.8358
U	530.4	508.7	486.9	465.1	443.3
C1u	595.0	614.7	636.0	659.0	684.0
C1a	176.7	182.6	189.0	195.9	203.4
alf1	16.60	16.60	16.60	16.60	16.60
C1	620.7	641.3	663.5	687.5	713.6
be1	69.92	59.85	51.73	45.29	40.19
C2u	-19.97	26.59	-34.00	-42.34	-51.76
W2u	550.4	535.2	520.9	507.5	495.1
C2a	180.5	184.1	187.0	189.3	190.8
be2	18.15	18.98	19.75	20.45	21.07
L1	.9449	.9762	1.010	1.047	1.086
Rt	.4311	.3928	.3500	.3021	.2480
T2w	1155.	1148.	1142.	1136.	1130.
L2w	.9390	.9203	.9024	.8854	.8695
L1w	3051	3434	3926	4506	5164
L2	3117	3192	3263	3329	3393
dbe	91.92	101.2	108.5	114.3	118.7
alf2	83.69	81.78	79.69	77.39	74.82

Ввести значение NS (NS=1,2,3,4,5, NS=0-выход,
 1 - $C_a=f(r)$ и $C_u=f(r)$, 2 - $L_c=f(r)$ и $L_w=f(r)$,
 3 - $Alf=f(r)$ и $Be=f(r)$, 4 - тр-ки скоростей,
 5 - профилирование лопатки CA ($pr=0$) или PK ($pr=1$).

После вывода на экран дисплея результатов расчета (таблица 2) программой предлагается возможность просмотра на графиках изменения указанных в меню параметров потока по радиусу и треугольников скоростей в пяти сечениях по высоте лопатки. Графическое представление результатов упрощает более обоснованный выбор закона крутки (см. учебное пособие [1]).

Если на данном этапе профилирование рабочей (или сопловой) лопатки не выполняется, то при выходе из программы (NS=0) результаты расчета потока по радиусу в виде таблицы 2 заносятся в файл `ost1.tez`. В программе предусмотрена и возможность профилирования рабочей (или сопловой) лопатки (NS=5).

При вводе NS=5 на экране дисплея высвечиваются значение средней высоты лопатки и предложение задать желаемое значение удлинения лопатки и число лопаток в решетке. В газодинамическом расчете турбины на среднем радиусе определяется предельное рекомендуемое удлинение лопаток CA и PK и выводятся соответствующие этим удлинениям значения хорды, шага и числа лопаток. При профилировании удлинение лопаток и их число может быть уменьшено, но так чтобы примерно сохранилась величина относительного шага t/b профилей в решетке (отклонение от газодинамического расчета не должно превышать 5...10%).

В рассматриваемом примере -

" $r_k = 22.00$ мм".

По запросу -

"Задать удлинение h/b и число лопаток PK"

введены значения: 1.5 и 71., по которым определены -

" $b_{cp} = 14.67$ $t_{cp} = 10.88$ $z_k = 71$. (t/b) $_{cp} = .742$ "

(по газодинамическому расчету - (t/b) $_{cp} = .76$).

Следующий запрос -

"Повтор - 1, продолжение счета - 2".

Если для подбора желаемых значений b_{cp} и (t/b) $_{cp}$ требуются сле-

дующие приближения, то вводится 1, при достижении желаемых значений - 2.

Далее следует запрос:

"Задать значение хорды в 5-ти сечениях по h".

При $b(r)=const$ вводятся, например, значения 15.,15.,15.,15.,15..

Затем на экран выводятся значения углов потока в относительном движении на входе и на выходе из рабочей решетки:

"be1= 69.92 59.85 51.73 45.29 40.19",

"be2= 18.15 18.98 19.75 20.45 21.07",

"be2л= 18.14 18.94 19.69 10.37 10.95"

и следуют запросы:

"Задать значения углов be1л в 5-ти сечениях",

"Задать значения углов be2л в 5-ти сечениях",

"Задать значения макс.отн.толщ. $S_{max}(S)$ ",

"Задать значения радиусов $R1(S), R2(S)$ в мм".

При выборе значений геометрических углов профилей be1л по известным значениям аэродинамических углов потока be1 следует задать значения углов атаки $i=be1л-be1$, соотношение же углов be2 и be2л определяется значениями углов отставания $S=be2-be2л$. Выведенные значения be2л уже посчитаны с учетом угла отставания. Для выбора углов атаки можно воспользоваться графиками, приведенными на рис. 2.2 и 2.3 работы [1].

После ввода запрашиваемых величин (например -

65.0, 58.0, 52.0, 47.0, 45.0

18.1, 18.9, 19.7, 20.4, 20.9

.140, .150, .170, .200, .240

.600, .620, .640, .660, .680

.200, .200, .200, .200, .200)

на экран выводится таблица 3, эта таблица вводится и в файл oct11.

В таблицу 3 внесены результаты расчетов по профилированию рабочей (или сопловой) лопатки. После таблицы 3 следует сообщение о том, что эти результаты перенесены и в файл исходных данных gfrt.dat программы графического сопровождения gfrt1.exe, позволяющей просмотреть вид решеток профилей на пяти радиусах по высоте лопатки.

Таблица 3
Профилирование лопатки РК по радиусу

Параметр	Сечение по высоте лопатки				
	1(пер)	2	3(ср)	4	5(вт)
го	1.000	.9590	.9179	.8769	.8358
b	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
t	11.86	11.37	10.88	10.40	9.912
1/b	.7906	.7581	.7257	.6932	.6608
i	4.921	1.851	2.724	1.710	4.806
del	.1911E-01	.3608E-01	.5909E-01	.8773E-01	.1208
Сгн	.1400	.1500	.1700	.2000	.2400
хст	.2656	.2634	.2644	.2682	.2766
be1л	65.00	58.00	52.00	47.00	45.00
be2л	18.10	18.90	19.70	20.40	20.90
r1	.6000	.6200	.6400	.6600	.6800
r2	2000	2000	2000	2000	2000

Число рабочих лопаток - 71 шт.

(Данные по профилированию записаны в файл gfrt.dat)

Содержание файла gfrt.dat приведено в таблице 4.

Таблица 4

5	20	0	4	0	1	0	71	1	kn(3),im(6)
1.0000	.9590	.9179	.8769	.8358	ro=r/rt				
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	b				
11.86	11.37	10.88	10.40	9.91	t				
.1400	.1500	.1700	.2000	.2400	Cm				
.2719	.2670	.2684	.2679	.2736	Xcm				
65.00	58.00	55.00	48.00	45.00	be11				
20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	be21				
.60	.62	.64	.66	.68	r1				
.20	.20	.20	.20	.20	r2				
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					

kn(kn1, kn2, kn3) - целочисленный массив

kn1 - число сечений по высоте;

kn2 - идентификатор изображения горла канала;

kn3 - 0 - решетка СА, 1 - решетка РК;

im(im1, im2, im3, im4, im5, im6) - целочисленный массив;

im1 - номер выбранного масштаба в списке

sm/1, 2, 2.5, 4, 5, 10, 5, 4, 2.5, 2/;

im2 - идентификатор изображения рамки;

im3 - идентификатор вывода 'Рис';

im4 - сдвиг изображения решетки по оси экрана;

im5 - число лопаток в решетке;

im6 - 1 или 2 - соответствует использованию различных формул для определения угла установки профиля в решетке (beu или alfu).

Для просмотра полученных решеток профилей используется программа gft1.exe.

Если при просмотре полученных решеток профилей возникает необходимость в некоторой коррекции решеток, например, в изменении значений радиусов закругления входной или выходной кромки лопатки, относительной толщины профилей или геометрических углов входа или выхода, то соответствующие изменения вносятся в файл gft.dat с последующим переносом этих изменений и в таблицу 4.

Профилевание лопаток СА выполняется по аналогичной схеме.

Координаты полученных профилей в пяти сечениях по высоте лопатки (от периферии ко втулке) заносятся в файл gft.rez.

Примеры решеток профилей СА и РК на трех радиусах по высоте лопаток, полученные по описанным программам, приведены на рис. 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7.

ЛИТЕРАТУРА

1. Профилевание лопаток авиационных турбин: Учебн. пособие / В.А.Коваль. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1986. - 49 с.