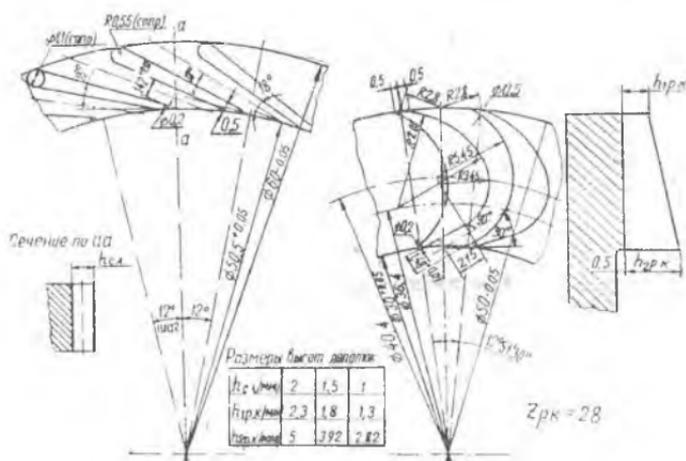


Н. Т. ТИХОНОВ

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА РАБОТУ ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЙ ВОЗДУШНОЙ МИКРОТУРБИНЫ

В настоящей статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований влияния некоторых конструктивных параметров на работу радиальной центробежной воздушной микротурбины, основные размеры соплового аппарата и рабочего колеса которой даны на фиг. 1.



Фиг. 1.

ВЛИЯНИЕ ШАГА ЛОПАТОК РАБОЧЕГО КОЛЕСА

Для экспериментальной проверки влияния шага на работу исследуемой микротурбины изменялось число лопаток при сохранении их размеров и формы (фиг. 1). Эксперимент проводился с четырьмя значениями шага, при числе лопаток $z_{p.k.} = 28, 24, 20, 16$

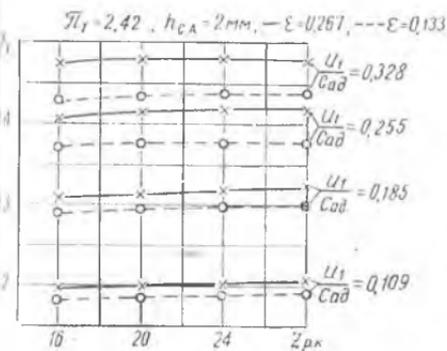
Наименьшая величина шага $z_{p.k.} = 28$ обусловлена минимальным имеющимся диаметром фрезы, $\varnothing = 1,42$ мм.

Эксперимент проводился на тормозе, описанном в работе [1]. Мощность, поглощаемая подшипниками, на которые опирается вал турбины, передается на весы тормоза и является составной частью тормозной мощности; таким образом, на тормозе замеряется внутренняя мощность N_T и подсчитывается внутренний к. п. д. η_T .

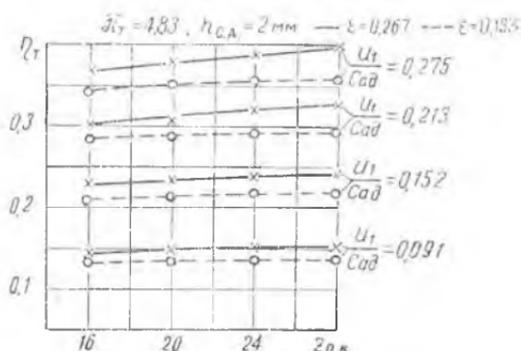
Результаты экспериментов при двух значениях степени расширения π_T , двух степенях парциальности ε и четырех значениях критерия $\frac{U_1}{C_{ад}}$, снятые на микротурбине с высотой соплового аппарата $h_{с.а.} = 2$ мм, представлены в виде графиков на фиг. 2 и 3.

Из графиков видно, что увеличение шага (уменьшение $z_{p.k.}$) приводит к незначительному снижению η_T . При $\varepsilon = 0,267$ влияние шага несколько более заметно. Возможно, что влияние шага усилится с увеличением степени парциальности ε .

Дополнительная проverka влияния шага на микротурбине с $\varepsilon = 1$ показала, что характер изменения η_T аналогичен изменению на парциальной турбине.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

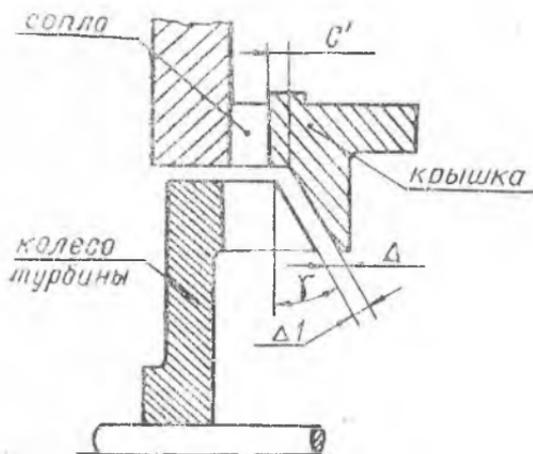
Таким образом, для исследуемого типа микротурбин наибольший к. п. д. получен при минимальном шаге, $z_{p.k.} = 28$. Однако, уменьшение числа рабочих лопаток с $z_{p.k.} = 28$ до $z_{p.k.} = 20$ при малых значениях π_T и $\frac{U_1}{C_{ад}}$ практически не изменяет величину η_T , в то же время стоимость производства колеса при этом снижается.

ВЛИЯНИЕ ОСЕВОГО ЗАЗОРА Δ МЕЖДУ ТОРЦЕМ ЛОПАТОК РАБОЧЕГО КОЛЕСА И НЕПОДВИЖНЫМ КОРПУСОМ

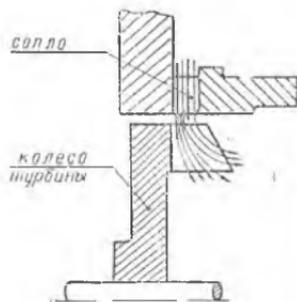
Исследование влияния осевого зазора Δ между торцом лопаток и неподвижным корпусом (фиг. 4) на работу микротурбины проводилось при $h_{с.а.} = 2$ мм, при трех значениях степени парциальности $\varepsilon = 1; 0,267; 0,133$ и двух значениях степени расширения $\pi_T = 2,42$ и $4,83$.

Величина Δ изменялась за счет размера C' крышки. Эксперимент проводился при трех значениях $\Delta = 0,25; 0,62$ и $1,35$ мм. Размер зазора Δ измерялся индикатором с точностью до $0,02$ мм.

Угол $\gamma = 15^\circ 10'$ и $\Delta_1 = \Delta \cdot \cos \gamma$. Ввиду малости угла разница величин Δ_1 и Δ менее 4%. На каждой степени расширения и парциальности при каждом значении Δ снимались характеристики турбины при шести значениях числа оборотов n в пределах от



Фиг. 4.



Фиг. 5.

15 000 до 45 000 об/мин. Экспериментами установлено отсутствие влияния Δ (при изменении в пределах от $0,25$ до $1,35$ мм) на работу исследуемой микротурбины.

Таблица 1

$$\epsilon = 0,133; T_z^* = 290^\circ \text{K}$$

π_T	n , об/мин.	$N_{\Delta=0,62}$ вт	$N_{\Delta=\infty}$ вт	$\Delta N = N_{\Delta=0,62} - N_{\Delta=\infty}$ вт	$\Delta N \% =$
					$\frac{\Delta N \cdot 100}{N_{\Delta=0,62}}$
2,42	45000	178,7	141,8	36,7	20,60
	40000	177,1	141,8	35,3	19,90
	35000	163,1	138,1	25,0	15,30
	28000	138,2	125,0	13,2	9,57
	22000	112,4	103,7	8,8	7,85
	15000	78,6	73,45	5,15	6,54
1,83	39000	445,0	388,0	57,0	12,75
	35000	415,0	363,5	51,5	12,40
	27000	327,0	297,0	30,0	9,2
	22000	270,1	251,0	19,8	7,34
	15000	190,2	177,0	13,2	6,95

Для выяснения причин отсутствия влияния Δ проведен эксперимент с $\Delta = \infty$, т. е. без передней стенки (фиг. 5). Эксперимент проводился при $\varepsilon = 0,133$ и $\pi_r = 2,42$ и $4,83$.

Как и следовало ожидать, мощность микротурбины с $\Delta = \infty$ мала по сравнению с $\Delta \neq \infty$, причем разница в мощностях заметно возрастает с увеличением числа оборотов, что хорошо видно по данным таблицы 1.

Полученный результат можно объяснить следующим. На поток воздуха, проходящий через турбину, действуют диаметрально противоположные силы давления газа и центробежные. Взаимодействие этих сил отжимает воздушный поток в свободную сторону (фиг. 5), и часть его преждевременно покидает межлопаточные каналы. При постоянной величине сил давления $\pi_r = \text{const}$ увеличение центробежных сил (с увеличением n) приводит к более интенсивному отбрасыванию потока и разница в мощностях турбин с $\Delta = \infty$ и $\Delta \neq \infty$ растет.

Увеличение сил давления газа (увеличение π_r) приводит к уменьшению отбрасывания потока и разница в мощностях турбин с $\Delta = \infty$ и $\Delta \neq \infty$ уменьшается (таблица 1).

При наличии передней стенки величина Δ не оказывает влияния на работу микротурбины, так как зазор запирается потоком воздуха, отжимаемого взаимодействием центробежных сил и сил давления газа.

Отсутствие влияния Δ (при изменении его в широких пределах) на работу исследуемого типа микротурбин упрощает их конструкцию.

ВЛИЯНИЕ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА И СОПЛОВОГО АППАРАТА

Высота рабочего колеса на входе на $0,3$ мм больше высоты соплового аппарата, что учитывает возможную ошибку при установке колеса турбины по отношению к сопловому аппарату.

$$h_{1, \text{р.к.}} = h_{\text{с.а.}} + 0,3 \text{ мм.}$$

Большое увеличение $h_{1, \text{р.к.}}$ нежелательно из-за роста вентиляционных потерь.

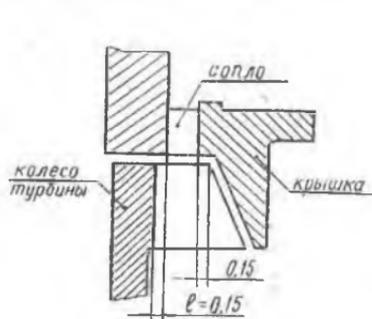
Обычно стремятся симметрично расположить рабочее колесо по отношению к сопловому аппарату (фиг. 6).

Точное выполнение такой установки представляет определенные трудности при монтаже, а порой значительно усложняет конструкцию и удорожает изготовление деталей узла.

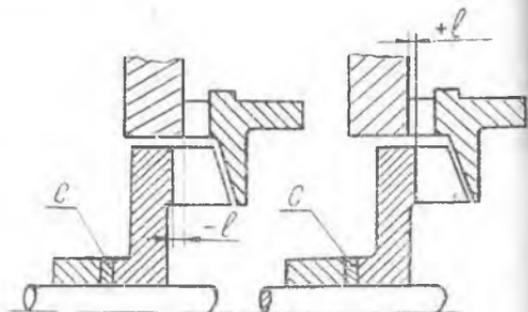
Целью эксперимента было, во-первых, найти наиболее выгодное взаиморасположение соплового аппарата и рабочего колеса, во-вторых, определить, как отступление от оптимального взаиморасположения сказывается на работе турбины.

Предыдущим экспериментом установлено отсутствие влияния

зазора Δ на работу микротурбины. Поэтому изменение взаимного расположения соплового аппарата и рабочего колеса осуществляется за счет осевого перемещения колеса.



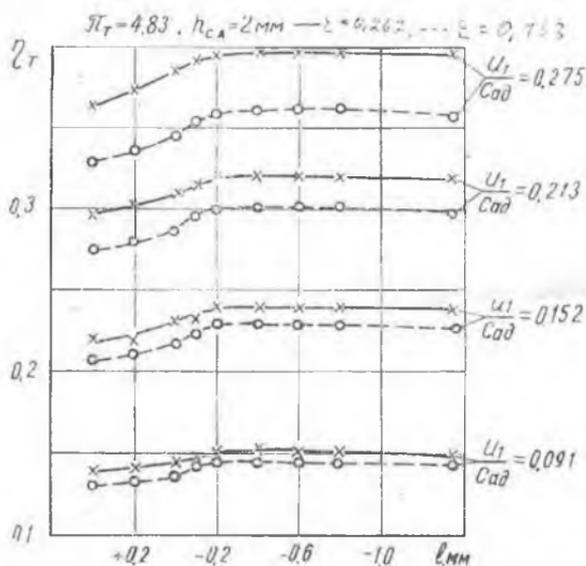
Фиг. 6.



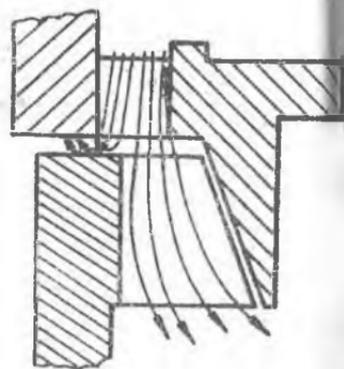
Фиг. 7.

Вначале с помощью микрометрического приспособления колесо устанавливалось в положение $l=0$. Затем с помощью калиброванных колец C (фиг. 7) производилось смещение рабочего колеса относительно соплового аппарата. Условно-смещение рабочего колеса от положения $l=0$ в сторону движения воздуха назовем плюсовым и в обратном направлении — минусовым (фиг. 7). Эксперимент проводился при $\pi_r = 2,42$ и $4,83$; $\varepsilon = 0,133$ и $\varepsilon = 0,267$; $h_{с.а.} = 2$ мм.

Результаты эксперимента при $\pi_r = 4,83$ представлены графиками на фиг. 8. Аналогичная зависимость получена и при $\pi_r = 2,42$.



Фиг. 8.



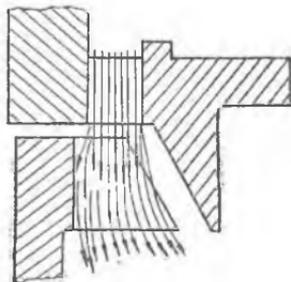
Фиг. 9.

Из графиков видно, что наиболее выгодным положением рабочего колеса по отношению к сопловому аппарату является $l \approx -0,2, -0,4$ мм. При значениях $l > 0$ работа микротурбины заметно ухуд-

шается (фиг. 9). Это объясняется ударом крайних левых (по чертежу) слоев струи в обод колеса и потерей при этом части энергии потока.

Расширение газа в зазоре между рабочим колесом и сопловым аппаратом вызывает удар в обод колеса крайних левых слоев струи не только при $l > 0$, но и при всех значениях $l > -0,2$ мм. Однако при $l > -0,2$ мм потери энергии на удар в обод незначительны.

Даже значительное смещение рабочего колеса в сторону отрицательных значений l мало влияет на работу микротурбины (фиг. 10). Это объясняется двумя причинами. Во-первых, лопатки рабочего колеса исследуемой турбины имеют большую ширину. Во-вторых, высота лопаток колеса на выходе более чем в два раза больше высоты на входе [2], т. е. лопатки колеса имеют коническую форму. Поэтому крайние правые (по чертежу) слои потока, выходящего из сопла, хотя и не попадают на входные кромки лопаток, все же поступают в межлопаточные каналы колеса близко к входным кромкам и успевают отдать свою энергию колесу.



Фиг. 10.

Незначительное влияние на работу турбины изменения взаимного расположения соплового аппарата и рабочего колеса в зоне отрицательных значений l облегчает задачу конструктора и удешевляет производство конструкций с радиальными центростремительными микротурбинами.

В Ы В О Д Ы

В результате экспериментального исследования радиальной центростремительной микротурбины с геометрическими размерами и формой, указанными на фиг. 1, установлено следующее.

1. Наибольшее значение к. п. д. турбины соответствует минимальному шагу лопаток колеса (т. е. максимальному значению $z_{р.к.}$). Однако изменение шага лопаток в широких пределах вызывает небольшое изменение к. п. д. турбины, увеличение шага с $z_{р.к.} = 28$ до $z_{р.к.} = 16$ снижает к. п. д. при $\pi_{т} = 2,42$ на $2 \div 5\%$, при $\pi_{т} = 4,83$ на $2 \div 8\%$.

2. Осевой зазор между торцем лопаток рабочего колеса и неподвижным корпусом, при изменении в пределах от 0,25 до 1,35 мм, на работу микротурбины не влияет. Зазор запирается потоком воздуха, отжимаемого воздействием сил давления газа и центробежных сил. Нечувствительность турбины к величине зазора Δ весьма важна с технологической и экономической точек зрения.

3. Микротурбина практически не реагирует на изменение взаимного расположения рабочего колеса и соплового аппарата. Лишь в том случае, когда струя выходящего из сопла газа ударяет по ободу, к. п. д. турбины уменьшается.

Слабое влияние взаимного расположения колеса и соплового аппарата, характеризуемое величиной l , упрощает конструкцию и удешевляет производство агрегатов с радиальными центробежными микротурбинами.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Дорофеев, А. С. Наталевиц, Н. Т. Тихонов. Магнитовоздушный тормоз для испытания микротурбин, ИВУЗ «Авиационная техника», 1962.

2. Н. Т. Тихонов. Влияние некоторых конструктивных параметров на работу радиальной центробежной воздушной микротурбины и методика расчета, Труды КуАИ, выпуск XV, часть II, 1963.
