

С. М. АВЕРКИЕВ

СЕРИЯ ОСЕВЫХ ВОЗДУШНЫХ МИКРОТУРБИН

В термодинамической лаборатории Куйбышевского авиационного института совместно с Центральным Конструкторским Бюро по проектированию и унификации механизированного инструмента Мосгорсовнархоза (ЦКБ) разработана серия осевых воздушных микротурбин.

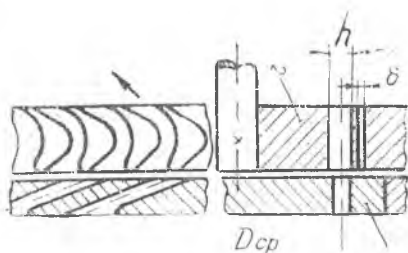
Серия разработана с целью создания ряда типоразмеров пневматических турбинных двигателей для привода ручного пневмошлифовального инструмента и других механизмов, имеющих высокие обороты $n > 20000$ об/мин.

Схема осевой микротурбины изображена на фиг. 1. На схеме: 1 — сопловой аппарат, 2 — колесо турбины.

Малые мощности и габариты микротурбин определяют их особенности, заключающиеся в следующем.

1. Микротурбины — двигатели высокооборотные, с числом оборотов $n = 20000$ — 100000 об/мин. Высокие обороты необходимы для уменьшения потерь с выходной скоростью и увеличения к. п. д.

Верхний предел оборотов микротурбин определяется стойкостью применяемых подшипников и прочностью колес турбин. Несмотря на высокие обороты, критерий $U_{ср}/C_{ад}$ (где $U_{ср}$ — окружная скорость колеса на среднем диаметре, $C_{ад}$ — адиабатная скорость, соответствующая полному теплоперепаду в турбине), определяющий эффективность турбины, из-за малых размеров колес не превосходит $0,2 \div 0,3$. Оптимальное же значение критерия $U_{ср}/C_{ад}$ соответствующее



Фиг. 1.

щее максимальному к.п.д. для активных парциальных микротурбин данной серии выше.

2. В связи с малыми расходами воздуха (например, в рассматриваемой серии объемный расход воздуха $Q_{\text{н}}$ изменялся от 0,07 до 0,37 $\text{нм}^3/\text{мин}$), микротурбины обычно бывают парциальными. Под парциальностью ε понимается отношение длины дуги, занятой соплами, к длине окружности соплового аппарата на среднем диаметре. Наличие парциальности вызывает дополнительные потери.

3. Размеры и сечения каналов сопел и колес чрезвычайно малы. Например, общая площадь критических сечений соплового аппарата в данной серии микротурбин изменяется от 1,8 до 8,0 мм^2 . Поэтому относительные потери на трение и вихреобразование в микротурбинах выше, чем в «больших» турбинах.

4. Так как высота лопаток колес мала (в данной серии $h = 2 \text{ мм}$), относительный радиальный зазор достигает 15%, что вызывает дополнительные потери энергии в зазоре.

5. Парциальные микротурбины имеют большой резерв мощности, так как ее увеличение возможно за счет расхода воздуха с прибавлением числа сопел при неизменной профилировке и размерах турбины. При этом, из-за увеличения парциальности, увеличивается и к.п.д. турбин.

Ввиду перечисленных причин эффективный к.п.д. парциальных воздушных микротурбин

$$\eta_{\text{е}} = \frac{\Delta T_{\text{е}}^*}{T_0^* \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_0^*} \right)^{0,286} \right]}$$

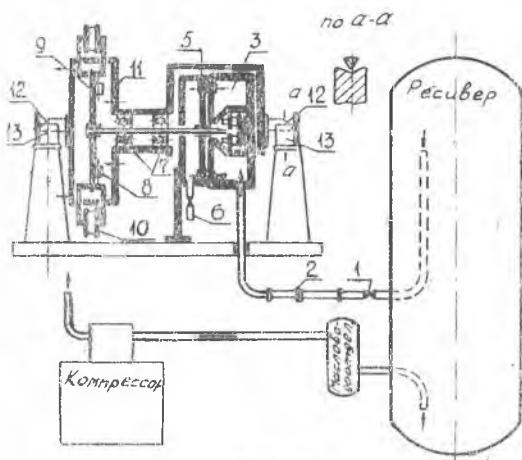
не превосходит 0,5–0,6. В формуле: $\Delta T_{\text{е}}^*$ — эффективное падение температуры торможения в турбине; P_0^* , T_0^* — давление и температура торможения перед турбиной; P_2 — статическое противодавление за турбиной.

Для выбора типа турбины разрабатываемой серии проведен большой объем расчетных, конструкторских и экспериментальных работ. В результате была отобрана одноступенчатая осевая турбина активного типа с бандажом и цилиндрическими соплами со скругленной входной кромкой. Турбина обладает наименьшим удельным расходом воздуха, наименьшими диаметральными габаритами и простейшими (сверлеными) соплами.

Турбины рассчитывались по методике, разработанной в термодинамической лаборатории КуАИ. Основные расчетные данные представлены в таблице 1. Расчетные обороты n , средний диаметр турбины $D_{\text{ср}}$ и ряд мощностей инструмента $N_{\text{н}}$ выбраны из условия выполнения рекомендаций на изготовление пневмошлифовального инструмента и, в частности, для получения единого для всех рабочих колес профиля межлопаточного канала. Расчетная мощность турбины определялась по формуле $N_{\text{ер}} = N_{\text{ир}} + N_{\text{пр}}$,

где: $N_{пр}$ — мощность трения пары подшипников серии А100Е на расчетных оборотах, взятая из экспериментальных данных. В расчетах полное давление воздуха на входе в турбину и его температура соответственно приняты равными 5 ата и 298°К, противо-давление за турбиной — атмосфере.

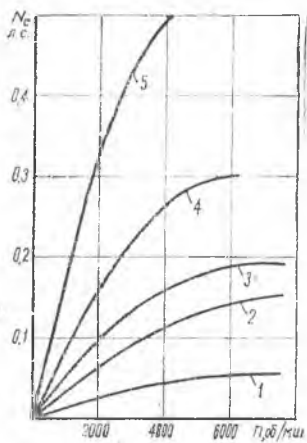
Характеристики микротурбин, приведенных в таблице 1, снимались на специальной установке [1] для испытания микротурбин УИМТ-4М. Схема установки показана на фиг. 2. Воздух из компрессора через маслоразделитель поступает в ресивер, из кото-рого по трубе с входным



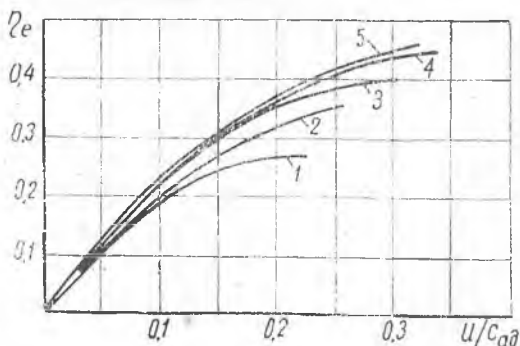
Фиг. 2.

рого по трубе с входным вентилем 1 проходит через нормальную диафрагму 2, служащую для измерения расхода воздуха, в кольцевую полость корпуса соплового аппарата 3. В сопловом аппарате воздух разгоняется и с большой скоростью (несколько превышающей скорость звука) поступает в колесо турбины 5, где отдает часть своей кинетической энергии и уходит через отводящий патрубок 6 в атмосферу. Выходной вентиль необходим в случае создания

противодавления за турбиной. Ротор тормоза опирается на два шарикоподшипника 7, установленных в качающемся корпусе 11, который ножами 12 опирается на подушки 13. Мощность, развиваемая турбиной, поглощается вентилятором 8, диском 9 и шарико-



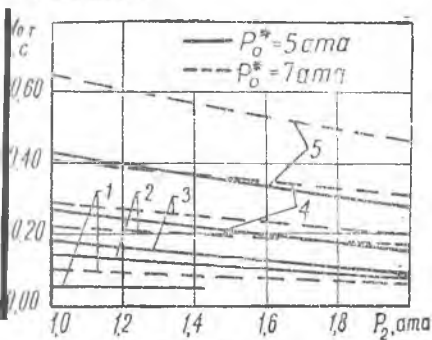
Фиг. 3.



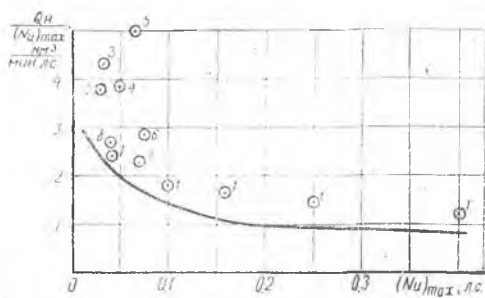
Фиг. 4.

подшипниками 7. Для увеличения тормозного момента диск 9 может тормозиться электромагнитами 10. Развиваемый турбиной крутящий момент равен опрокидываемому моменту качающейся части установки и измеряется произведением уравновешивающего груза на длину плеча рычага. Чувствительность весов тормоза 3 Г/см. Обороты турбины измеряются электромагнитным датчиком оборотов 14 и измерителем частоты ИЧ-7. Точность измерения оборотов и расхода воздуха 2%.

Экспериментальные характеристики серии микротурбин представлены на фиг. 3—5. Некоторое расхождение между расчетными и опытными мощностями объясняется, в основном, небольшим отклонением диаметров отверстий сопел от принятых в расчете. Кривые фиг. 3 и 4 сняты при расчетных давлениях перед и за турбиной.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

На фиг. 6 сравниваются различные пневмошлифовальные инструменты (ПШ): 1 — коловратные двигатели, 2 — ПШ Desautter (Англия), 3 — ПШ Prelu (Англия), 4 — ПШ Permon (Чехословакия), 5 — ПШ ЗИЛ (СССР), 6 — ПШ завода «Вибратор» (СССР), 7 — ПШ-1М КуАИ (СССР), 8 — ПШО-1 КуАИ (СССР), — ПШ с турбинным двигателем рассматриваемой серии (расчет). ПШ 2-8 испытывались в термодинамической лаборатории. Эксперименты проводились на специальной установке при полном давлении перед турбиной 5 атм и атмосферном давлении на выходе из ПШ. Данные по коловратным двигателям взяты из нормали на пневматические ротационные двигатели, разработанной ЦКБ. Основная причина улучшения экономичности рассматриваемых двигателей состоит в применении более совершенной аэродинамической формы каналов колес турбин, бандажа и в согласованности конструкции турбин с данными газодинамического расчета. Вес и диаметральные габариты ПШ, создаваемого на базе данной серии микротурбин, будут наименьшими в сравнении с известными авторам образцами.

На основании вышеизложенного осевые парциальные микротурбины были выбраны в качестве двигателя в разработанной в 1962 году общесоюзной нормали на турбинные двигатели пнев-

Таблица 1

№ турбин	$D_{\text{ср.}} \text{ мм}$	$n_{\text{р.}} \text{ об/мин.}$	$N_{\text{ср.}} \text{ л. с.}$	$N_{\text{ср.}} \text{ л. с.}$	$Q_n / N_{\text{ср.}} \text{ мм}^3 / \text{мин. л. с.}$
1	22,5	75 000	0,00	0,064	1,26
2	30,0	60 000	0,10	0,140	0,99
3	37,5	50 000	0,16	0,188	0,88
4	45,0	40 000	0,25	0,268	0,86
5	60,0	30 000	0,40	0,410	0,86

мошлифовального инструмента.

В заключение следует отметить, что опытные воздушные микро турбины, обладающие достаточно высокими характеристиками для микро турбин к. п. с. большим резервом изменения мощности при простоте конструкции и большой надежностью, имеют большое будущее в качестве бытовых и производственных пневмоприводов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

Г. В. М. Дорофеев, А. С. Наталевич, Н. Т. Тихонов. Магнитовоздушный тормоз для испытания микро турбин. Известия высших учебных заведений. Серия «Авиационная техника». № 4, 1962.