

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ГУСТОТЫ СОПЛОВОЙ РЕШЕТКИ ПАРЦИАЛЬНОЙ ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЙ МИКРОТУРБИНЫ

Матвеев В.Н., Белоусов Е.Ю., Малышев А.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В центростремительных микротурбинах (ЦСМТ) с полным подводом рабочего тела густота сопловой решетки в широком диапазоне $(b/t_1)_{CA} = 1,1...2,4$ не влияет на мощностной КПД турбинных ступеней [1]. Это позволяет выбирать густоту решетки соплового аппарата (СА) существенно меньше величины $(b/t_1)_{CA} = 1,9$, рекомендуемой нормалью МН 4698-63. СА ЦСМТ можно проектировать с густотой решетки наименьшей из указанного диапазона, практически равной густоте "прострела" $(b/t_1)_{пр}$ при которой возможно проведение радиуса R_0 касательного к входной и выходной кромкам соседних лопаток (см.рис. 1). Последнее дает возможность снизить массу, габариты и улучшить технологичность лопаточного венца (ЛВ) СА за счет уменьшения суммарной протяженности межлопаточных каналов.

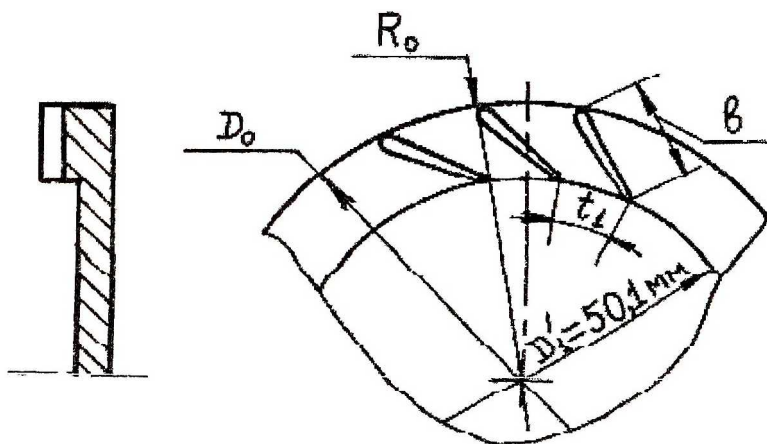


Рис. 1. Сопловая решетка ЦСМТ

Вместе с тем, в известных конструкциях турбоагрегатов довольно часто используются парциальные ЦСМТ, в которых также желательно снизить густоту решетки СА. Однако публикации о влиянии густоты сопловой решетки на кпд η_T ЦСМТ с парциальным подводом рабочего тела отсутствуют. Поэтому представляется актуальной задача исследования возможности снижения густоты решетки СА без снижения энергетической эффективности парциальной ЦСМТ.

Для решения поставленной задачи были изготовлены такие же пять ЛВ СА, состоящие из прямолинейных лопаток [2], что и в работе [1] с изменением $(b/t_1)_{СА}$ в диапазоне 0,8...2,4. Высота ЛВ равнялась $h_{СА} = 1,2$ мм. Различная густота решеток СА достигалась изменением хорды b за счет варьирования диаметра D_0 на входе в СА.

Сопловые ЛВ продувались в составе ступеней ЦСМТ на стенде [3] в диапазонах степени понижения давления $\pi_T = 2...6$ и параметра нагруженности $Y_T = 0,1...0,3$. Уменьшение степени парциальность ϵ от 1 до 0,16 было обеспечено ступенчато заливкой по 3...7 межлопаточных канала эпоксидной смолой. Исследования проводились при $\epsilon = 0,77; 0,50; 0,27$ и 0,16.

Первоначально на основании результатов эксперимента для ступеней с каждым СА были получены кпд-характеристики в виде $\eta_T = f(Y_T)$ при фиксированных значениях степени понижения давления $\pi_T = 2, 3, 4, 5$ и 6. Всего было снято 25 таких характеристик. В дальнейшем эти зависимости были перестроены в виде графиков $\eta_T = f(b/t_1)_{СА}$ при постоянных значениях π_T , Y_T и ϵ . Для $\epsilon = 0,16$ и 0,77, $\pi_T = 5$ и различных уровнях Y_T зависимости $\eta_T = f(b/t_1)_{СА}$ представлены на рис. 2. Для других ϵ и π_T эти зависимости имеют аналогичный характер.

Как видно из приведенных графиков $(b/t_1)_{СА}$ практически не влияет на кпд ЦСМТ при $(b/t_1)_{СА} > (b/t_1)_{пр}$. Постоянство уровня кпд в этой области объясняется противоположным действием ряда факторов. При уменьшении густоты решетки за счет уменьшения хорды снижаются потери на трение об ограничивающие поверхности межлопаточных каналов СА, а также от вторичных течений из-за уменьшения протяженности каналов. Однако с уменьшением хорды увеличивается кривизна линий тока в межлопаточных каналах СА, что приводит к увеличению диффузорного участка на спинке и увеличению профильных потерь. Кроме того, увеличение кривизны линий тока вызывает увеличение разницы давлений на спинке и корытце лопаток, а это способствует интенсификации вторичных течений. Противоположное действие указанных факторов компенсирует друг друга и приводит к постоянству кпд.

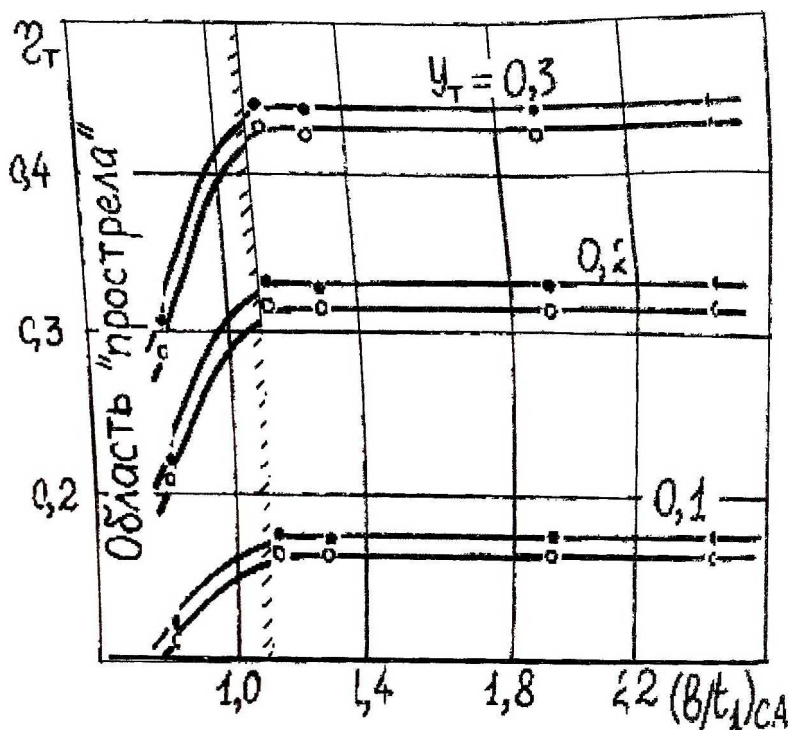


Рис. 2. Влияние густоты сопловой решетки на кпд

При $(b/t_1)_{CA} < (b/t_1)_{кр}$ начинается резкое падение η_T . Так, при $\epsilon = 0,77$ и $Y_T = 0,2$ уменьшение $(b/t_1)_{CA}$ до 0,8 приводит к уменьшению η_T с 0,33 до 0,22, т.е. на 33 % (отн.), а при $\epsilon = 0,16$ и том же параметре нагруженности кпд снижается с 0,315 до 0,205, т.е. на 35 % (отн.). Интенсивное уменьшение кпд в этом случае объясняется повышенной неравномерностью потока на выходе из СА, а также существенной его нестационарностью. О последнем свидетельствует пульсация статического давления на выходе из сопловой решетки. Кроме того, при $(b/t_1)_{CA} < (b/t_1)_{кр}$, как показывают статические продувки СА [1], значительно увеличивается угол потока на выходе из соплового ЛВ. Все это в совокупности приводит к резкому снижению кпд ступени.

Таким образом, в результате проведенных исследований парциальных ЦСМТ установлено, что плотность сопловой решетки, как и в ступенях с полным подводом рабочего тела, не влияет на КПД ЦСМТ в диапазоне $(b/t_1)_{CA} = (b/t_1)_{np} \dots 2,4$. Возможность снижения плотности решетки с величины $(b/t_1)_{CA} = 1,9$, рекомендованной нормалью МН 4698-63, до $(b/t_1)_{np} = 1,1$ позволяет несколько снизить диаметральные габариты (до 5 %) и массу (до 12 %) СА. В тоже время хронометрирование фрезерования сопловых ЛВ показало, что трудоемкость их изготовления при переходе от $(b/t_1)_{CA} = 1,9$ к $(b/t_1)_{CA} = 1,1$ снижается на 40...45 %.

Итак, на основании экспериментальных исследований в диапазонах $\pi_T = 2 \dots 6$, $Y_T = 0,1 \dots 0,3$ и $\epsilon = 0,16 \dots 1$ установлено:

- плотность сопловой решетки при $(b/t_1)_{CA} > (b/t_1)_{np}$ не влияет на энергетическую эффективность ЦСМТ вплоть до $(b/t_1)_{CA} = 2,4$;
- при плотности решетки меньше $(b/t_1)_{np}$ начинается резкий рост потерь и уменьшение КПД турбинной ступени;
- уменьшение плотности решетки до $(b/t_1)_{CA} = (b/t_1)_{np}$ позволяет снизить массу, диаметральные габариты и улучшить технологичность соплового ЛВ.

Список литературы

1. Тихонов Н.Т., Трофимов А.А., Матвеев В.Н. Влияние плотности решетки соплового аппарата на экономичность центростремительной микротурбины с полным впуском // Изв. вузов. Авиационная техника. 1984. № 3. С. 56-59.
2. Тихонов А.Н., Тихонов Н.Т., Трофимов А.А. Экспериментальный выбор оптимальных профилей лопаток соплового аппарата и рабочего колеса центростремительной микротурбины // Проектирование и доводка авиационных газотурбинных двигателей / КуАИ. Куйбышев, 1980. С. 104-112.
3. Экспериментальное получение энергетической характеристики турбины: Методические указания / Н.Т. Тихонов, В.Н. Матвеев, А.А. Маркин, Н.Ф. Мусаткин - ИПО СГАУ Самара, 1995. 19с.