

где правая часть представляет собой просто некоторое множество, абсолютно неструктурированное.

Структура конфигурации представляет собой множество соединений, существующих между всеми или некоторыми связями первичных элементов, входящих в ее состав. При этом будем рассматривать не все возможные множества соединений \mathcal{G} , но лишь определенный класс. Множество всех допустимых множеств соединений \mathcal{G} будем называть типом соединений конфигураций в рассматриваемом множестве регулярных конфигураций $G(P)$.

В заключение введем в предлагаемую теорию наблюдаемость. Две различные конфигурации k и k' из $G(P)$ необязательно будут восприняты наблюдателем как различные. Последнее может зависеть или не зависеть от способа получения информации о конфигурациях наблюдателем и от способа обработки информации. Формализуем это обстоятельство посредством правила идентификации R , при помощи которого указывается, каким образом наблюдатель может различать конфигурации.

Предлагаемый в работе формализм является обещающим направлением. Сложные решения, принимаемые в обстановке интегрированного автоматизированного проектирования, которые должны быть промоделированы перед выполнением проекта, требуют такого подхода. Описанный формализм представления имеет мощные способности в части моделирования и имитации и может быть непосредственно включен в интегрированную систему созданию новых образцов энергоузлов. Одновременно следует заметить, что этот формализм должен быть дополнен формализмом преобразований.

УДК 629.7

В.Н.Матвеев, П.Ф.Мусаткин, А.А.Исчитаёло

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ЛОПАТОК НА КОЭФФИЦИЕНТ СКОРОСТИ СОПЛОВОГО ЛОПАТОЧНОГО ВЕНЦА ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЙ МИКРОТУРБИНЫ

Рассматриваются результаты исследования влияния относительной высоты лопаток ступени турбины на уровень коэффициента скорости соплового аппарата в наиболее характерных диапазонах чисел Маха и Рейнольдса.

Экспериментальные исследования лопаточных венцов турбин ГТД показывают, что с уменьшением высоты лопаток происходит увеличение

Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994.

гидравлических потерь [1]. Особенно интенсивно потери возрастают при отношении высоты h лопатки к хорде b менее 1 ($h/b < 1$). Для сопловых венцов центробежных микротурбин (ЦСМТ) характерен диапазон $h/b \approx 0,1 \dots 0,5$, что существенно меньше единицы. Поэтому и уровень потерь в сопловых аппаратах (СА) ЦСМТ довольно велик, а значение коэффициента потерь находится в диапазоне $0,15 \dots 0,30$. Вместе с тем зависимость потерь от параметра h/b ЦСМТ пока изучена недостаточно. Последнее обстоятельство сдерживает решение задач оптимизации геометрических параметров и обуславливает повышенные погрешности газодинамических расчетов ЦСМТ.

Таким образом, определение влияния высоты лопаток на коэффициент скорости φ СА ЦСМТ является в настоящее время актуальной задачей, решение которой позволит повысить точность расчетов ЦСМТ.

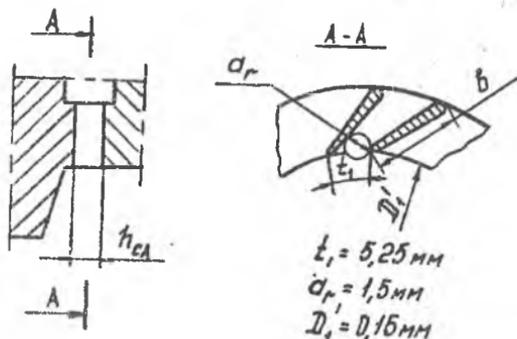
Решение поставленной задачи осуществлялось экспериментальным путем. В качестве объекта исследования была выбрана серия из четырех СА с различной густотой из диапазона $b/t_2 = 1,1 \dots 2,5$, охватывающего все известные рекомендации по выбору густоты сопловых решеток ЦСМТ. Сопловые лопаточные венцы состояли из прямолинейных лопаток, предложенных в работе [2] (рис.1). Во всех четырех СА эффективный угол был одинаков и равен $16,6^\circ$, а горло межлопаточных каналов $d_r = 1,5$ мм.

Экспериментальные исследования были проведены на установке для статических продувок [3] в характерной для МТ области по числу Маха $M_{15} = 1,0 \dots 1,8$. Эта установка позволяет определять характеристики лопаточных венцов в виде зависимости $\varphi = f(M_{15})$ с погрешностью, не превышающей 2%.

Исследованный диапазон по высоте лопаток СА составлял $h_{ca} \approx 0,3 \dots 3$ мм, что

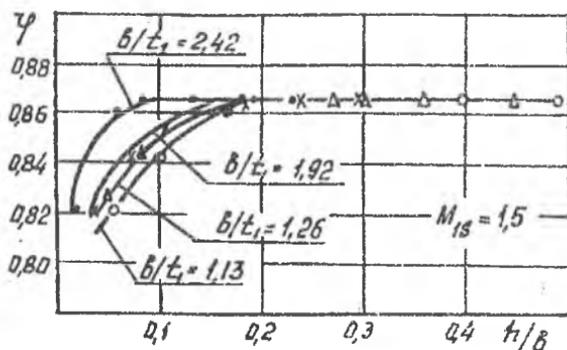
соответствует практически применяемым высотам сопловых лопаток ЦСМТ.

Эксперимент был поставлен следующим образом. При первоначальной высоте лопаток $h_{ca} = 3$ мм на установке [3] определялись характеристики всех четырех СА в виде зависимостей $\varphi = f(M_{15})$. Затем лопатки подрезались с целью уменьшения их высоты и вновь сни-



мались характеристики $\varphi = f(M_{1s})$. После этого на основании серии полученных для каждого СА характеристик $\varphi = f(M_{1s})$ были построены зависимости $\varphi = f(h/B)$ при фиксированных значениях M_{1s} . Для $M_{1s} = 1,5$ такие зависимости приведены на рис. 2.

Как следует из представленных кривых, коэффициент скорости φ остается практически неизменным в довольно широком диапазоне $h/B = 0,15 \dots 0,50$ вне зависимости от плотности решетки, и только при $h/B < 0,15$ начинается некоторое уменьшение φ . Так, при $b/l_1 = 1,92$ уменьшение h/B до 0,03 приводит к снижению φ до 0,82, т.е. приблизительно на 5%. Причем отмеченное снижение φ у СА с меньшей плотностью начинается при больших значениях h/B . Так, у СА с $b/l_1 = 1,13$ снижение φ происходит при $h/B = 0,13 \dots 0,16$, а у СА с $b/l_1 = 2,42$ аналогичное явление наблюдается при $h/B = 0,05 \dots 0,08$.



Р и с. 2. Влияние параметра h/B на коэффициент скорости

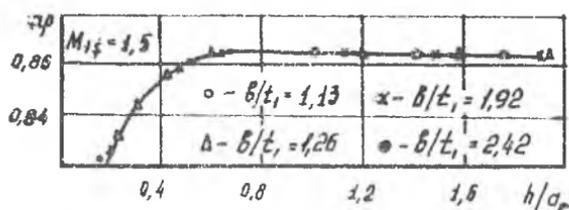
Снижение φ , по-видимому, происходит вследствие изменения картины течения газа в межлопаточных каналах с уменьшением $h_{СА}$. Как утверждают авторы работ [4], при малых высотах лопаток происходит интенсивное взаимодействие парных вихрей и преобразование их в систему нескольких вихрей вдоль всего поперечного сечения межлопаточного канала. Естественно, что это обуславливает увеличение потерь энергии.

При пониженных значениях плотности решетки вследствие роста поперечного градиента давления в межлопаточных каналах интенсивность вторичных течений и их взаимодействие увеличиваются. Это приводит к сме-

щению начала снижения φ (см. рис. 2) в сторону больших h/b

Косвенное подтверждение существенного влияния вторичных течений на уровень потерь в СА можно получить, построив зависимости коэффициента скорости φ от отношения h_{CA} к горлу a_r межлопаточного канала h/a_r , — отношения, определяющего интенсивность взаимодействия парных вихрей (рис. 3).

Как следует из представленных зависимостей, уменьшение φ у СА различной густоты происходит при одном и том же значении $h/a_r = 0,4 \dots 0,5$. По-видимому, при этой величине h/a_r появляются дополнительные вихреобразования в межлопаточных каналах СА.



Р и с. 3. Влияние параметра h/a_r на коэффициент скорости

Приведенная на рис. 3 зависимость $\varphi = f(h/a_r)$ относится к $M_{1.5} = 1,5$. Аналогичный вид имеют зависимости $\varphi = f(h/a_r)$ и при других величинах $M_{1.5}$. Отличие заключается только в уровне величины коэффициента скорости. Если же указанные зависимости преобразовать к виду $\bar{\varphi} = \varphi/\varphi' = f(h/a_r)$, где φ' — значение коэффициента скорости при фиксированной величине $M_{1.5}$ и $h/a_r \geq 0,6$, то последние оказываются одинаковыми и при различных $M_{1.5}$.

В качестве аппроксимирующей зависимости в данном случае можно предложить следующее выражение:

$$\bar{\varphi} = 1,0275 - 0,017 / (h/a_r + 0,017).$$

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования в диапазоне $M_{1.5} = 1,0 \dots 1,8$ и $b/t_1 = 1,1 \dots 2,5$ позволили установить следующее:

1. В интервале $h/a_r = 0,6 \dots 2,0$ величина потерь в СА ЦСМТ остается практически неизменной.

2. При $h/a_r < 0,5 \dots 0,6$ начинается уменьшение коэффициента скорости СА, которое при $h/a_r = 0,2$ достигает приблизительно 5%.

3. Зависимость коэффициента скорости от высоты лопаток СА ЦСМТ может быть аппроксимирована выражением

$\bar{\varphi} = \varphi/\varphi' = 1,0275 - 0,017(h/a_r + 0,017)$,
где φ' - значение коэффициента скорости СА при фиксированной
величине M_{15} и $h/a_r > 0,6$.

Библиографический список

1. Локай В.И., Максимова М.К., Стрункин В.А. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1979. 620 с.

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: Сб. тр. / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1980. С. 104-111.

3. Вьюншев В.Н., Матвеев В.Н., Тихонов Н.Т. Установка для статической продувки сопловых аппаратов и рабочих колес микротурбин // Испытания авиационных двигателей: Сб. тр. / Уфим. авиац. ин-т. Уфа, 1983. С. 66-69.

4. Тихонов Н.Т., Тихонов А.Н., Грачева С.М. Экспериментальное исследование влияния величины верхней и нижней перекрыш на экономичность воздушных центростремительных микротурбин с полным подводом // Авиационная техника: Изв. высш. учеб. заведений. 1983. С. 42-46.