

УДК 621.438-762

Ю.А. ЗЕЛЁНЫЙ, Ю.А. ФОКИН, О.А. ПЕТРОВА

Государственное предприятие Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» им. ак. А.Г. Ивченко, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАТОРНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

Рассмотрены результаты экспериментов по оценке расходных характеристик и эффективности статорных уплотнений. Получены количественная оценка утечек через уплотнения и рекомендации по их применению при конструировании узлов ГТД.

модель уплотнения, продувки, утечки, параметр расхода, коэффициент расхода, сектора лопаток, стыки, установка, расходомер, эффективность уплотнения

Введение

Создание экономичных, высокотемпературных газотурбинных двигателей (ГТД), обладающих высокой надежностью и ресурсом требует разработки эффективных и экономичных систем охлаждения элементов турбины.

При этом, наиболее сложной задачей является обеспечение надежной работы сопловых, рабочих лопаток и проставок над венцами рабочих лопаток, которые подвержены непосредственному воздействию газового потока и механическим нагрузкам. Поэтому актуальным является вопрос рационального использования охлаждающего воздуха, поскольку, чем выше его относительный расход, тем меньше преимуществ от повышения температуры газа перед турбиной.

1. Концепция исследований

В конструкции турбин, чаще всего применяются не сплошные литые сопловые аппараты (СА), а сектора, объединяющие от двух до четырех спаяных между собой лопаток, между которыми есть стык, а следовательно и зазор, через который существуют паразитные утечки. Уменьшение зазора до технологически выполнимого минимума полностью не решает проблему, поскольку может привести к дефектам и поломкам из-за термических напряжений, связанных с различными темпами прогрева сопрягае-

мых узлов, тем не менее, стремиться к такой минимизации необходимо, но не во вред работоспособности. Утечки существуют всегда и необходимо предпринимать меры к их минимизации и правильному выбору монтажных зазоров. Такие же требования выдвигаются и к разрезным охлаждаемым (и неохлаждаемым) проставкам над венцами рабочих лопаток.

Анализ подобных утечек на выполненных конструкциях показывает, что величина относительных утечек (отношение расхода на утечки, и расхода на охлаждение узла могут составлять от 10 до 30%, а в некоторых случаях, в зависимости от конструкции, и выше. Наличие утечек отрицательно сказывается на к.п.д и параметрах двигателя. Поэтому конструкторами прилагаются значительные усилия для максимального их снижения.

2. Содержание и результаты исследований

Наиболее простым и достаточно эффективным решением проблемы уплотнений, является поставка пластин в специальные пазы, выполненные в торцах стыков лопаток или проставок.

В настоящей работе приведены результаты продувок на специальной установке моделей стыков. Схема установки и модели стыка представлены на рис. 1.

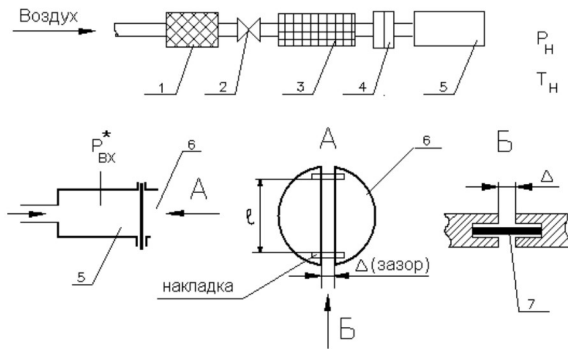


Рис. 1. Схема установки для продувки моделей уплотнений: 1 – влагомаслоотделитель; 2 – кран дроссельный; 3 – фильтр; 4 – мерное устройство; 5 – приспособление; 6 – модель уплотнения; 7 – уплотнительная пластина

Модель представляет собой разрезанный на две равные части сплошной диск, у которого в месте разреза выполнены специальные пазы для пластин.

Модель собрана с определенным монтажным зазором по стыку (фиксация обеих половин – накладками из фольги, приваренными конденсаторной сваркой), устанавливается в приспособление, исключающее возможность каких бы то ни было перетеканий воздуха как по торцу диска, так и по его цилиндрической поверхности. Размеры проточной части модели (длина щели и зазор между половинками диска) перед испытаниями обмерялись.

Испытание модели заключалось в снятии ее дроссельной характеристики в диапазоне $1,05 \leq \pi \leq 2,2$ (выхлоп из модели производился в атмосферу) для определения ее параметра расхода $\bar{G} = f(\pi)$ и коэффициента расхода $\mu = f(\pi)$ в виде:

$$\bar{G} = \frac{G \cdot \sqrt{T_H}}{P_{ВХ}^*}; \quad (1)$$

$$\pi = \frac{P_{ВХ}^*}{P_H}; \quad (2)$$

$$\mu = \frac{\bar{G}}{0,3965 \cdot F \cdot q(\lambda)}; \quad (3)$$

$$\pi(\lambda) = \frac{P_H}{P_{ВХ}^*};$$

при $\pi(\lambda) \leq 0,528$ принято $q(\lambda) = 1,0$,

где $\bar{G}$ – параметр расхода, $\text{см}^2 \cdot \text{К}^{0,5} \cdot \text{с}^{-1}$;

G – физический расход через уплотнение, кг/с ;

T_H – температура воздуха, К ;

$F = \ell \cdot \Delta$ – площадь проходного сечения, м^2 ;

$P_{ВХ}^*$ – полное давление перед уплотнением, кгс/см^2 ;

P_H – атмосферное давление, кгс/см^2 ;

$q(\lambda)$, $\pi(\lambda)$ – газодинамические функции.

Исследованию подвергались два уплотнения с различными монтажными зазорами в стыке (Δ):

Модель А $\Delta = 0,35 \dots 0,36$ мм;

Модель Б $\Delta = 0,18 \dots 0,23$ мм,

при установленных одной, двух и трех пластин в одном пазу, а также без уплотнительных пластин

Результаты этих продувок приведены на рис.2.

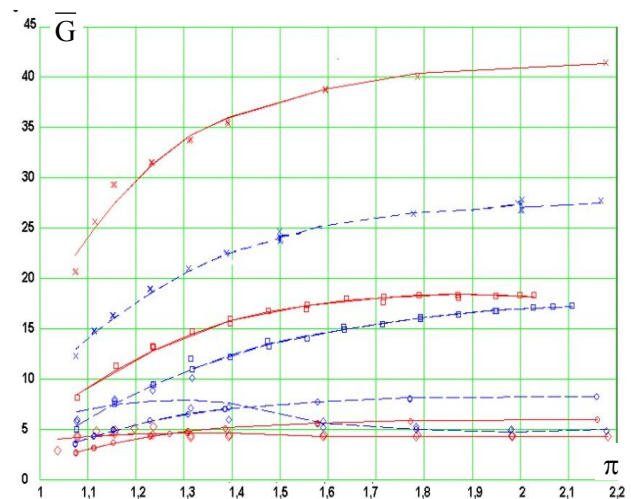


Рис. 2. Результаты продувок моделей уплотнений:

модель А ——— заякор $\Delta = 0,35 \dots 0,36$ мм;

модель Б - - - - - заякор $\Delta = 0,18 \dots 0,23$ мм;

x – без уплотнительных пластин;

□ – с одной пластиной;

○ – с двумя пластинами;

◇ – с тремя пластинами

По результатам этих продувок можно сделать следующие выводы:

1. Постановка в паз одной пластины снижает расход воздуха через модель, по сравнению с моделью без уплотнительных пластин (в зависимости от зазора), приблизительно в 1,6...2,2 раза.

2. Постановка двух пластин в один паз снижает расход через модель уплотнения приблизительно в 3,4...6,3 раза.

3. Постановка в один паз трех пластин снижает расход через уплотнение в 5,4...9 раз.

Зависимость коэффициента расхода μ , посчитанного по замеренному зазору в стыке уплотнения, от отношения давлений на уплотнении π представлена на рис. 3.

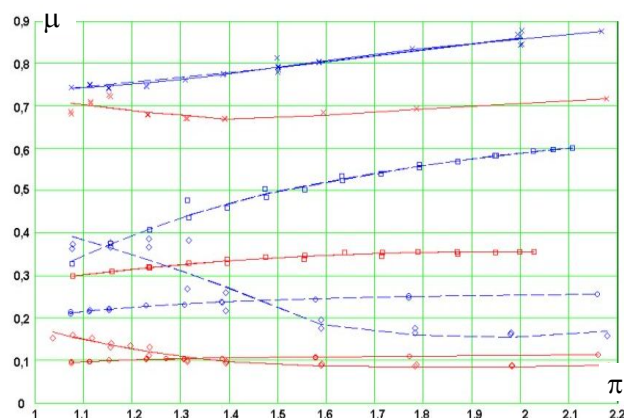


Рис. 3. Коэффициент расхода модели уплотнения: модель А — зазор $\Delta = 0,35...0,36$ мм; модель Б — зазор $\Delta = 0,18...0,23$ мм; х — без уплотнительных пластин; □ — с одной пластиной; ○ — с двумя пластинами; ◇ — с тремя пластинами

При реальной сборке узла и в процессе его работы положение пластин в пазу может изменяться (изменяется зазор между пластинами и стыком от зазора до натяга, положение и форма самой пластины), что может приводить к изменению пропускной способности уплотнения.

Для исследования степени влияния указанных факторов, дополнительно были изготовлены три вида уплотнений, геометрические размеры которых соответствуют уплотнениям на лопатках СА трех двигателей, разработанных на предприятии. Продувки этих уплотнений выполнялись с переборкой каждой модели по пять раз, причем сборка проводилась при зазорах сопоставимых с зазорами уплотнений А и Б но при разных усилиях сжатия стыка уплотнений (руками, с последующей фиксацией кон-

тактной сваркой и сжатием в тисках с усилием порядка 6 кгс и 80 кгс соответственно).

Результаты статистических данных этих продувок представлены на рис. 4:

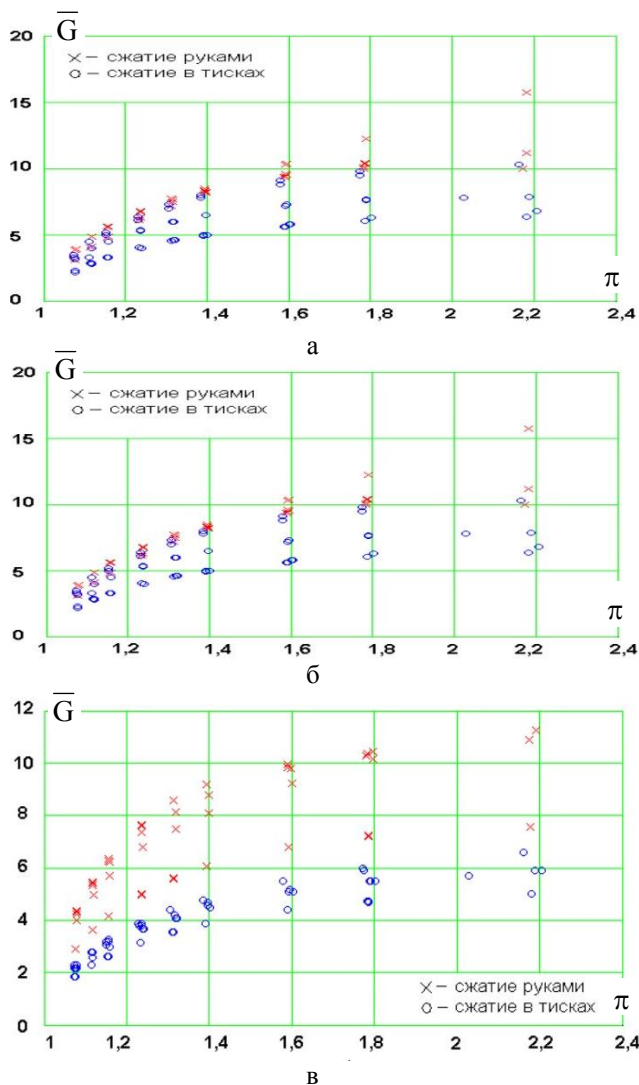


Рис. 4. Расходные характеристики уплотнений: а — двигатель ДЗ6; б — двигатель АИ-450; в — двигатель Д-27

Заключение

Анализ полученных результатов позволяет более обоснованно подходить к выбору типа уплотнений стыка между статорными узлами и оценивать величину утечек в соединениях.

Поступила в редакцию 1.06.2004

Рецензент: д.т.н. проф. В.Н. Доценко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.