

УДК 621.452.3-762.4

Ю.В. РУБЛЕВСКИЙ

ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина

## УМЕНЬШЕНИЕ ИЗНОСА РАБОЧЕГО ДИАМЕТРА ЩЕТОЧНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

*Представлено состояние работ по разработке и исследованию щеточных уплотнений (ЩУ) для снижения утечек воздуха в авиационных и стационарных ГТД. Выполнены аналитические и экспериментальные исследования различных вариантов ЩУ с целью повышения их работоспособности. Установлено, что при введении смазки в зону контакта ЩУ с ротором в этой точке снижается температура. Это является показателем уменьшения трения, а следовательно и износа рабочего диаметра ЩУ. Это один из путей обеспечения стабильности расхода воздуха через ЩУ в течение всего ресурса ГТД.*

**Ключевые слова:** щеточное уплотнение, эксплуатационные характеристики, экспериментальные образцы, температура в зоне контакта.

### Введение

Создание новых и модификация ранее разработанных газотурбинных двигателей связаны в первую очередь с выполнением требований повышения их топливной эффективности.

Снижение утечек воздуха, отбираемого в компрессоре для нужд турбины (охлаждение, создание перепадов давлений в опорах, компенсация осевого усилия на упорные подшипники) – одно из направлений решения этой задачи.

Ведущие мировые разработчики авиационных и стационарных газотурбинных двигателей затрачивают значительные усилия на разработку, испытания и внедрение более эффективных уплотнений, одними из которых являются щеточные уплотнения.

Так NASA выполнено прямое сравнение эффективности лабиринтного и щеточного уплотнения за КВД двигателя YТ-700 [1].

Зарубежные информационные источники говорят о проверке работоспособности и эффективности таких уплотнений на фирмах «Роллс-Ройс», «Дженерал Электрик», Пратт-Уитни, Сименс, Мицубиси, Вестенхауз и ряде других фирм, занимающихся разработкой и эксплуатацией авиационных и стационарных ГТД.

Для примера в около 70 ГТД GE работают 205 ЩУ, их суммарная наработка составляет 1,4 млн. часов, а на одном из двигателей GE90 достигнута наработка свыше 40000 часов.

С ростом наработки становится актуальной задача по обеспечению стабильности расхода воздуха через ЩУ в течение всего ресурса ГТД.

Расход воздуха через уплотнение определяется в первую очередь зазором между его статорными и

роторными элементами. Вопросу изучения износа этих элементов ЩУ посвящен ряд зарубежных работ [2, 3], но о пути решения этой проблемы отражены не достаточно.

В статье представлен ход работ по снижению износа в зоне контакта ЩУ с ротором путём введения туда жидкой или твёрдой смазки.

### 1. Экспериментальная часть

Для снижения повреждаемости ЩУ в процессе наработки необходимо уменьшить износ от трения при контакте торца проволочек уплотнительного элемента и ротора.

Если предположить, что вся работа трения при взаимодействии ЩУ и ротора преобразуется в тепло, то

$$Q = \mu \cdot F_b \cdot V \quad (1),$$

где  $Q$  – количество тепла, выделенное при контакте [Вт],

$\mu$  – коэффициент трения при взаимодействии уплотнения с ротором,

$F_b$  – нормальная сила на вершине проволочек без учета трения [Н],

$V$  – окружная скорость ротора в зоне контакта [м/с].

Поскольку параметр  $V$  определяется конструкцией ГТД, а  $F_b$  технологией изготовления и конструкцией самого ЩУ, то уменьшить износ можно только за счет снижения величины параметра  $\mu$ .

Коэффициент трения можно изменить различным способом, в том числе и введением в зону трения смазки.

Эксперименты по отработке применения различных видов смазки проводились на динамиче-

ской установке (рис. 1) по специально разработанной программе.

При этом все образцы проходили испытания при оборотах имитатора ротора  $n = 8400$  об/мин и глубине врезания от 0 до 1,2 мм, без продувки воздухом через ЩУ.

Как показывают результаты работы (2) продувка воздуха резко снижает температуру в зоне контакта ЩУ с ротором. Таким образом, в нашем случае тестирование проходило в более жестких условиях и соответственно стойкость ЩУ при работе на изделии будет существенно выше.

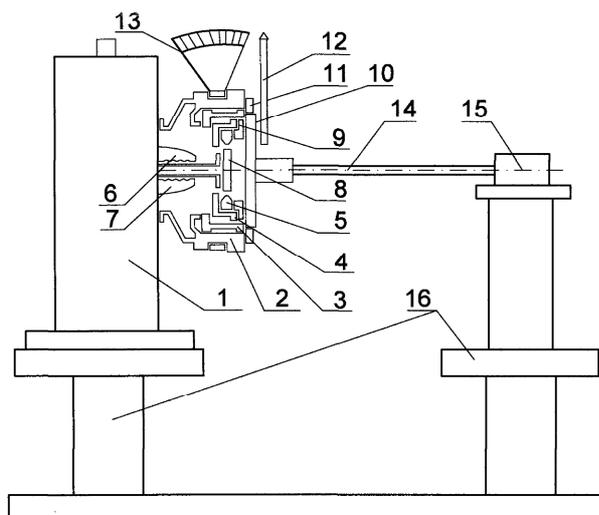


Рис. 1. Эскиз динамической установки, собранной для проведения врезаний, где:

- 1 – корпус планетарного редуктора;
- 2 – стакан;
- 3 – эксцентрическая втулка;
- 4 – деталь № 1, для крепления уплотнения;
- 5 – щеточное уплотнение;
- 6 – узел ротора;
- 7 – фланец ротора установки;
- 8 – диск-имитатор ротора турбины;
- 9 – деталь № 2, для крепления уплотнения;
- 10 – крышка для крепления водила;
- 11 – стопорное кольцо;
- 13 – лимб для визуального контроля глубины врезания;
- 14 – водило для передачи крутящего момента;
- 15 – червячный редуктор;
- 16 – лимб визуального контроля

В качестве объектов исследования использовались образцы ЩУ 5Z (О/л №ЛЗ-4/2007), 10R/0 (О/л №ЛЗ-32/2009), 10R5 (О/л №ЛЗ-27/2011), изготовленные на предприятии ГП «Ивченко-Прогресс» с нанесением различных видов смазки.

Наиболее приемлемый метод измерения температуры при врезании - введение в зону контакта датчика, который выполнен в виде кабельной термопары ХА с наружным диаметром  $\varnothing = 0,3$  мм,

вмонтированного в ЩУ. При этом микро-термопара работает параллельно с проволочками уплотнительного элемента и фиксирует температуру непосредственно в зоне контакта торца проволочек с ротором на всех режимах работы. Для повышения надежности замер выполнялся параллельно 3-мя термопарами.

## 2. Результаты исследований

На первом образце ЩУ 5Z (О/л №ЛЗ-4/2007) с пропиткой жидкой смазкой №1 обрабатывалась методика замера температуры в зоне контакта торца проволочек с ротором при помощи кабельной микро-термопары.

Были получены замеры во всем рабочем диапазоне оборотов и врезаний, кроме того термопара фиксировала температуру в течении 35мин. непрерывной работы при max величине врезания без продувки воздуха через ЩУ.

В процессе приработки рабочего диаметра ЩУ 5Z происходило снижение температуры в зоне контакта с ротором на 130 °С.

Применение жидкой смазки № 1 в ЩУ 5Z обеспечивает снижение температуры в зоне контакта на 230°С при врезании на 1,2мм.

Особенностью испытания ЩУ 10R/0 (О/л №ЛЗ-32/2009) с пропиткой жидкой смазкой №1 была проверка расходной характеристики уплотнения до и после врезания на стационарной установке. В результате ЩУ показало стабильные результаты по расходу, т.е. рабочий диаметр изнашивался незначительно. Недостатком жидкой смазки №1 ограничивающим применение её на изделии является тот факт, что под действием рабочего перепада давления она выдувается из ЩУ.

Поэтому следующий вариант ЩУ 10R5 (О/л №ЛЗ-27/2011) был с нанесением на рабочий диаметр твердой смазки № 2. Он показал снижение температуры в зоне контакта с ротором на 93 °С. К недостаткам можно отнести стойкость твердой смазки № 2 при врезании до величины 0,8 мм.

## Заключение

На основании результатов проведенных исследований по сравнению нескольких видов смазки введенных в зону контакта ЩУ и ротора можно сделать вывод, что экспериментальный образец ЩУ 10R5(О/л №ЛЗ-27/2011) с твердой смазкой № 2 при проверке на динамической установке показал более стабильные результаты.

Экспериментальный образец ЩУ 10R5(О/л №ЛЗ-27/2011) с твердой смазкой № 2, нанесенной по технологии ГП «Ивченко-Прогресс», может слу-

жить прототипом для дальнейшей отработки ЩУ с целью применения в конструкции авиационных ГТД и ГТП наземного применения.

### Литература

1. *Relative Performance Comparison Between Baseline Labyrinth and Dual-Brush Compressor Discharge Seals in a YF-700 Engine Test* / R.C. Hendricks, T.A. Griffin, T.R. Kline, K.R. Csavina, A. Pancholi, D.

Sood. – *NASA Technical Memorandum 106360*, 1994. – 23 p.

2. *Demiroglu M. An investigation of heat generation characteristics of brush seals* / M. Demiroglu, J. ATichy. – *ASME Turbo Expo2007, GT 2007-28043*. – 10 p.

3. *Design features and performance details of brush seals for turbine applications* / M. Neef, E. Salda, N. Surken, J. Walkehorst. – *ASME Turbo Expo 2006, GT 2006-90404*. – 8 p.

Поступила в редакцию 22.05.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Н. Доценко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

### ЗНИЖЕННЯ ЗНОСУ РОБОЧОГО ДІАМЕТРУ ЩІТКОВИХ УЩІЛНЕНЬ

*Ю.В. Рублевський*

Представлено стан робіт з розробки та впровадженню щіткових ущільнень (ЩУ) для зниження витоків повітря в авіаційних і стаціонарних ГТД. Виконані аналітичні та експериментальні дослідження різних варіантів ЩУ з метою підвищення їх працездатності. Установлено, що при введенні змазки в зону контакту ЩУ з ротором в цій точці знижується температура. Що має бути показником зниження тертя, а існуючі із цього і зносу робочого діаметру ЩУ. Це один із шляхів забезпечення стабільності расходу повітря через ЩУ в продовж всього ресурсу ГТД.

**Ключові слова:** щіткове ущільнення, експлуатаційні характеристики, експериментальні зразки, температура в зоні контакту.

### DIMINISHING OF WORKING DIAMETER WEAR OF BRUSH SEAL

*Ju. V. Rublevsky*

The condition of works on working out and introduction BS for decrease in leaks in air cavities aviation and stationary GTE is presented. In work the experimental research of variants BS is spent. It is established, that at check on static installation experimental sample BS 10R/03, workings out SE ZMBDB "Progress" named after academician A.G.Ivchenko under the characteristics does not concede to foreign analogue. Under the characteristics experimental sample BS 10R/03 can serve as prototype BS for application in a design of the turbine of land application.

**Key words:** brush seal, operational characteristics, account characteristics, experimental samples, a temperature is in the area of contact.

**Рублевский Юрий Владленович** – вед. конструктор ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина, e-mail: RU-YV@mail.ru, skype: Yuriy4041.