

УДК 621.431.75:621.438

А. В. Ефименко<sup>1</sup>, Н. В. Польшникова<sup>1</sup>, канд. техн. наук В. Н. Доценко<sup>2</sup><sup>1</sup> ГП «Ивченко-Прогресс» имени академика А. Г. Ивченко, г. Запорожье,<sup>2</sup> Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕМПФЕРОВ ОПОР РОТОРОВ ТУРБИН АВИАДВИГАТЕЛЕЙ И ДВИГАТЕЛЕЙ НАЗЕМНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

На основании анализа реальных гидродинамических демпферов высокотемпературных опор роторов турбин ГТД выявлено наличие диссипации энергии колебаний неуравновешенных вращающихся масс не только из-за противодействия сил вязкого сопротивления жидкости, находящейся в демпферных зазорах, но и из-за наличия внешнего трения между поверхностями элементов демпфера. Определена возможность повышения эффективности гидродинамических демпферов усилением внешнего трения скольжения их элементов.

*Газотурбинный двигатель, опора роторов турбин, демпфер, маслоуплотнительное кольцо, трение*

### Введение

Постоянно продолжающийся процесс усовершенствования авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) заключается в увеличении их мощности, надежности, экономичности, снижения массы и габаритов. Условия работы многих сборочных единиц и деталей усложняются. В значительной степени это относится и к опорам роторов турбин, в состав которых зачастую входят и устройства гашения колебаний, в том числе гидродинамические демпферы с упругими элементами (ГДД с УЭ).

Опора ротора турбины современного авиационного ГТД – устройство, определяющее положение ротора относительно статора и обеспечивающее их относительное вращение с минимальными затратами механической энергии.

По отношению к демпферам опор турбин усложнение работы заключается в повышении уровня температуры и жестким ограничением места

размещения демпфера, как одного из элементов опоры турбины.

В настоящее время в опорах роторов ГТД применяются преимущественно гидродинамические демпферы, в которых диссипация энергии колебаний неуравновешенных вращающихся масс осуществляется при перетекании вязкой жидкости по тонкому демпферному зазору и преодолении внешнего трения в сопряжениях деталей демпфера.

### Содержание работы

Повышение эффективности демпфирующих устройств достигается разными методами, например, применением так называемого «длинного» [1] гидродинамического демпфера (рис. 1). Следует иметь в виду, что организация «длинного» демпфера связана с применением маслоуплотнительных колец, в данном случае, для высокотемпературных опор, – самопружинящихся маслоуплотнительных колец (поршневого типа).

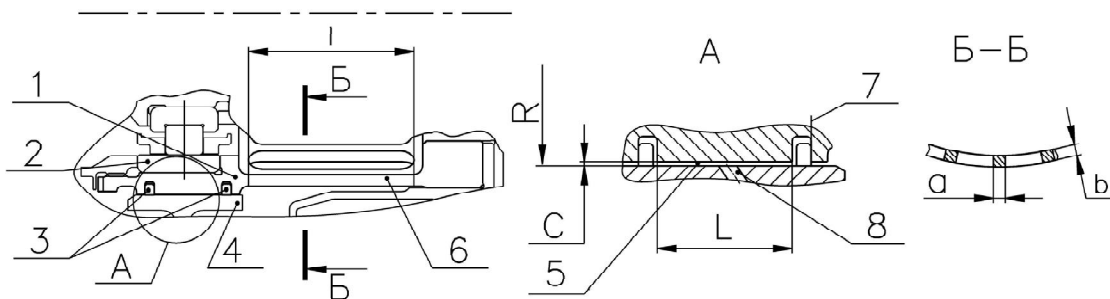


Рис. 1. Гидродинамический демпфер опоры ротора ТНД двигателя ДВ-2 учебно-тренировочного самолета Л-39МС чешского производства:

1 – вибратор; 2 – роликоподшипник; 3 – маслоуплотнительные кольца; 4 – корпус; 5 – зазор в демпфере; 6 – упругая балочка; 7 – поверхность сопряжения; 8 – маслоподводящее отверстие

Основным демпфирующим элементом ГДД является слой масла, подаваемый под давлением через равномерно расположенные по окружности отверстия 8 в полость, образуемую поверхностью кругового цилиндра радиусом  $R$  корпуса 4 и вибратора 1. Демпфирующие свойства зависят от толщины  $C$  масляного слоя, длины  $L$  активного участка, определяемого расположением уплотняющих колец 3, а также особенностью течения жидкости в зазоре  $C$ .

Зазор  $C$  обеспечивается выполнением образующих его поверхностей корпуса и вибратора с высокой точностью — соответственно по 6 и 5 квалитетам ГОСТ 25347-82 с ужесточением форм (допуск круглости, профиля продольного сечения) соответствующим степени точности выше 5 по ГОСТ 24643-81.

Параллельное включение в систему демпфера упругости (несколько балочек 6 длиной  $l$ , шириной  $b$ , толщиной  $b$ ) позволяет воспринимать вес ротора и создавать более благоприятные условия для рассеяния энергии, а также обеспечить перемещение оси подшипника 2 в пространстве плоскопараллельно, благодаря чему исключаются перекосы и местная перегрузка подшипника, что для обеспечения надежности высокоскоростных роликоподшипников имеет чрезвычайно важное значение.

Применение сочетания трапецевидных канавок с самопружинящимися кольцами позволяют избежать анизотропии характеристики демпфера и работать с меньшими зазорами.

В отношении повышения энергии, затрачиваемой на преодоление трения, заслуживает внимание демпфирующее устройство передней опоры ротора свободной турбины газотурбинного двигателя наземного применения АИ-336 (рис. 3).

Колебания неуравновешенных вращающихся масс вызывают противодействие не только сил вязкого сопротивления жидкости, находящейся под давлением в демпферных зазорах  $C$ , но и сил трения по поверхности  $B$  сопряжения самопружинящегося маслоуплотнительного кольца  $D$  и вибратора  $G$ . При плоскопараллельном переме-

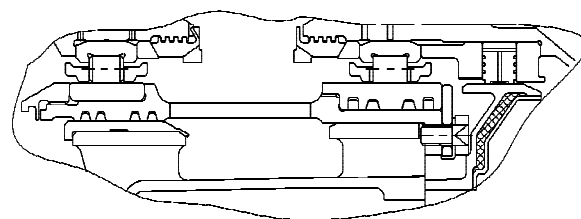


Рис. 2. ГДД с УЭ опоры ротора ТНД и ГДД опоры ротора ТВВ двигателя Д-27 (самолет Ан-70)

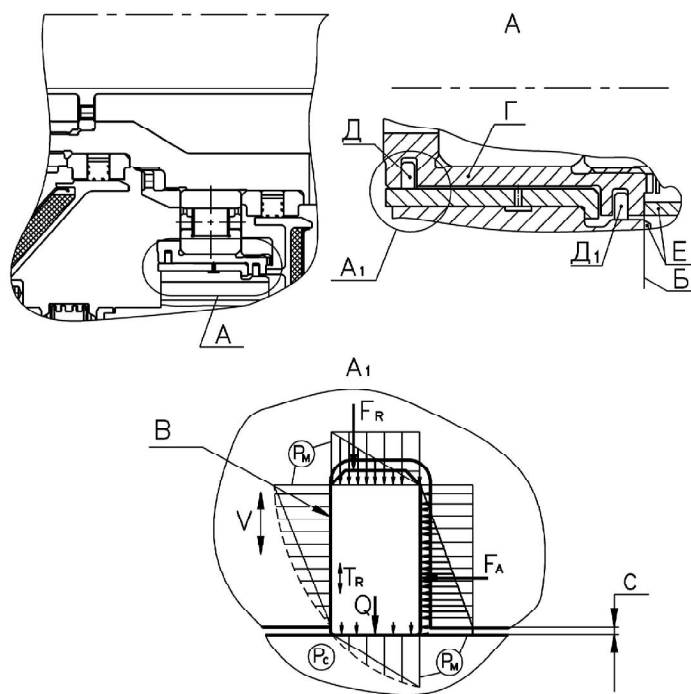


Рис. 3. Передняя опора ротора свободной турбины ГТД АИ-336 наземного применения:

$B$  — поверхность сопряжения вибратора с корпусом;  $B$  — поверхность сопряжения вибратора с маслоуплотнительным кольцом;  $G$  — вибратор;  $D, D_1$  — маслоуплотнительные кольца;  $E$  — корпус;  $C$  — зазор в демпфере;  $F_A, F_R$  — осевая и радиальная неуравновешенные силы от перепада давления жидкости на маслоуплотнительных кольцах;  $P_M, P_C$  — давление масла и воздушно-масляной среды;  $Q$  — суммарная сила давления пружинящегося маслоуплотнительного кольца;  $T_R$  — равнодействующая сил трения;  $V$  — линейная скорость вибратора

шении последних с амплитудой  $C$  на резонансных частотах вращения роторов с угловой скоростью  $\omega$  скорость скольжения в сопряжении равна

$$V = \omega \cdot C,$$

и потребляемая мощность внешнего трения [3] равна

$$N_m = \frac{F_A - (Q + F_R) \cdot f}{1 - f^2} \cdot f \cdot V,$$

где  $f$  – коэффициент трения.

Вибратор  $\Gamma$  опоры имеет две канавки для монтажа маслоуплотнительных колец  $D, D_1$ , где сопрягаются самопружинающие маслоуплотнительные кольца с корпусом  $E$  по поверхностям неодинаковых диаметров. Под воздействием моторного масла, подаваемого в зазор  $C$ , создается весьма существенная неуравновешенная гидростатическая осевая сила, которая воспринимается корпусом  $E$  по поверхности сопряжения  $B$ . На резонансных режимах работы, с амплитудой колебания  $C$ , на преодоление трения по поверхности сопряжения  $B$  затрачивается работа колебания неуравновешенных вращающихся масс.

В опорах роторов турбин авиационных ГТД конструкций ГП «Ивченко-Прогресс» нашли широкое применение ГДД с УЭ, которые установлены: в опорах роторов ТНД авиационного турбореактивного двухконтурного двигателя АИ222-25 (Учебно-боевой самолет Як-130, Россия), двигателя АИ-22 (самолет Ту-324, Россия). В опорах роторов турбин нашли применение и ГДД (без УЭ) – все опоры турбин двигателей Д-36, Д-436Т1 (самолеты Як-42, Ан-74, Бе-200), двигателей Д-136 (вертолет Ми-26), турбин двигателей Д-18Т (самолеты Ан-125 «Руслан», Ан-225 «Мрія»).

Все демпферы обеспечивают надежную работу двигателей, их безотказная наработка в составе двигателей десятки тысяч часов и более.

#### Вывод

Анализ конструкций и работы гидродинамических демпферов высокотемпературных опор роторов турбин реальных ГТД, имеющих в своем составе металлические элементы демпфера, сопрягаемые с поверхностью вибратора, выявляет возможность дополнительной затраты энергии неуравновешенных вращающихся масс на преодоление сил внешнего трения.

Вклад внешнего трения в рассеивание энергии неуравновешенных вращающихся масс роторов ГТД, при необходимости, возможно увеличивать без существенного усложнения конструкции опоры.

#### Перечень ссылок

1. Новиков Д. К. Проектирование гидродинамических демпферов опор роторов двигателей летательных аппаратов / Д. К. Новиков. – Самара : Изд-во Самарского научного центра РАН, 2000. – 164 с.
2. А.с. 1646354 СССР. ДСП. Подшипниковая опора / А. В. Ефименко, В. Я. Кривошей. №4688255/27 ; заявл. 03.04.89 ; зарегистрир. 03.01.91.
3. Диссипация энергии колебаний неуравновешенных вращающихся масс внешним трением в составе гидродинамического демпфера : сб. науч. тр. по матер. 11-й междунар. науч.-техн. конф. [«Герметичность, вибронадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования»], (Сумы, 6-9 сентября 2005г.) : Изд-во СумДУ, 2005. – Т. 2. – 340 с.

Поступила в редакцию 28.09.2009

**A. V. Yefimenko, N. V. Polnikova, V. N. Dotsenko**

### INFLUENCE OF EXTERNAL FRICTION ON EFFICIENCY OF DAMPERS OF TURBINE ROTOR SUPPORTS OF AIRCRAFT ENGINES AND GROUND ENGINES

*На підставі аналізу реальних гідродинамічних демпферів високотемпературних опор роторів турбін ГТД виявлена наявність дисипації енергії коливань неврівноважених обертюв мас не тільки через протидію сил гнужлого опору рідини, що перебуває в демпферних зазорах, але й через наявність зовнішнього тертя між поверхнями елементів демпфера. Визначено можливість підвищення ефективності гідродинамічних демпферів посиленням зовнішнього тертя ковзання їхніх елементів.*

**Газотурбінний двигун, опора роторів турбін, демпфер, кільце маслоуцільнювача, тертя**

*Based on analysis of real gas-dynamic dampers of GTE high-temperature turbine rotor supports, there is detected presence of dissipation of the energy of unbalanced rotating weights oscillations not only because of the counterforce of viscous resistance of the fluid contained in damper clearances, but also because of the presence of external friction between surfaces of damper elements. There is determined capability to increase efficiency of hydrodynamical dampers by increasing sliding friction of their elements.*

**Gas turbine engine, turbine rotor support, damper, oil-seal ring, friction**