

Если не учитывать напряжения от действия продольной силы, то согласно равенству (21) величина максимальных напряжений от действия внешней силы

$$\sigma_{\max} = 0,289 Pr/W.$$

Эта формула дает завышенное значение максимальных напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артемов Е. А.* Экспериментальное и расчетное определение податливости упругих опор турбомашин. Изв. вузов, «Авиационная техника». Казанский авиационный институт, 1965, № 2.
2. *Шекан Г. Г.* Исследование и конструирование некоторых упруго-демпферных опор для высокооборотных электрических машин. Дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., 1972.
3. ОСТ 1 10778-72. Двигатели газотурбинные. Кольца упругие опор роторов. Конструкция и размеры. М., 1972.
4. *Кельзон А. С., Прядилов В. И., Фигурнов И. М.* Экспериментальное исследование упругих опор вращающихся валов. В сб.: «Судовые силовые установки». Л., «Транспорт», 1970, № 9.

УДК 621.165:621.438—253

В. А. Фролов, В. А. Колесников, А. И. Ермаков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИИ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА

При колебаниях лопаток турбомашин возникающее рассеяние энергии обусловлено рядом факторов, одним из которых является потеря энергии на трение по контактным поверхностям замкового соединения. Для лопаток компрессора с креплением типа «ласточкин хвост» величина этих потерь особенно мала [1], так как в поле центробежных сил существенно возрастает жесткость соединения лопаток с диском. При этом смещение контактных поверхностей замка лопатки относительно сопрягаемых поверхностей диска, хотя и имеет место, становится крайне малым.

Для повышения демпфирующих свойств замков необходимо обеспечить их подвижку и разработать новые демпфирую-

щие устройства, способные эффективно поглощать энергию колебаний при тех микросмещениях, которые практически реализуются в соединениях лопаток с диском.

Принцип создания подобных демпфирующих устройств и возможности их применения для заглушения колебаний лопаток турбомашин рассматривались на примере повышения демпфирующих свойств замковых соединений типа «ласточкин хвост».

Демпфирование в замках осуществляется на рабочих (несущих) поверхностях соединения. Оно в значительной степени зависит от величины действующих на замок статических нагрузок. Для лопаток направляющих аппаратов такими нагрузками являются газовые силы, приводящие к появлению значительных моментов в заделке. Для рабочих лопаток основной статической нагрузкой на замок является центробежная сила от лопатки. Поэтому исследования демпфирующих свойств замковых соединений необходимо проводить на установке, позволяющей создавать статические моментные и силовые нагрузки замков.

На рис. 1 представлена схема установки, позволяющая испытывать модели лопатки 1, имеющие различные конструкции замков 2.

Статические нагрузки на замок создавались через загрузочное устройство 7, выполненное как одно целое с замком 1. Загрузочное устройство имеет низкую жесткость на изгиб в плоскости колебаний пера 1, что позволило свести к минимуму потери энергии вне замка.

Лопатка 1 закреплялась в корпусе установки 5 с помощью накладки 3. В накладке выполнен ответный по отношению к замку лопатки паз, имитирующий паз диска. Демпфер 6 устанавливался в пазах на рабочих гранях и со стороны подошвы замка. Регулирование предварительного натяга на демпфере осуществлялось подбором зазора z . С этой целью между корпусом 5 и накладкой 3 устанавливались прокладки 4 заданной толщины.

К загрузочному устройству прикладывалась или осевая сила P_0 , имитирующая действие на замок центробежных сил, или касательная сила P_n , имитирующая действие на замок газовых сил. Каждая из этих сил плавно регулировалась и контролировалась с помощью динамометров или тарированными тензодатчиками, наклеенными на пластине загрузочного устройства.

Перо лопатки возбуждалось воздушным вибростендом типа КуАИ-ВВ [2]. Замер уровня вибронпряжений и частоты колебаний осуществлялся наклеенными на перо лопатки проволочными тензодатчиками и соответствующей регистрирующей аппаратурой высокого класса.

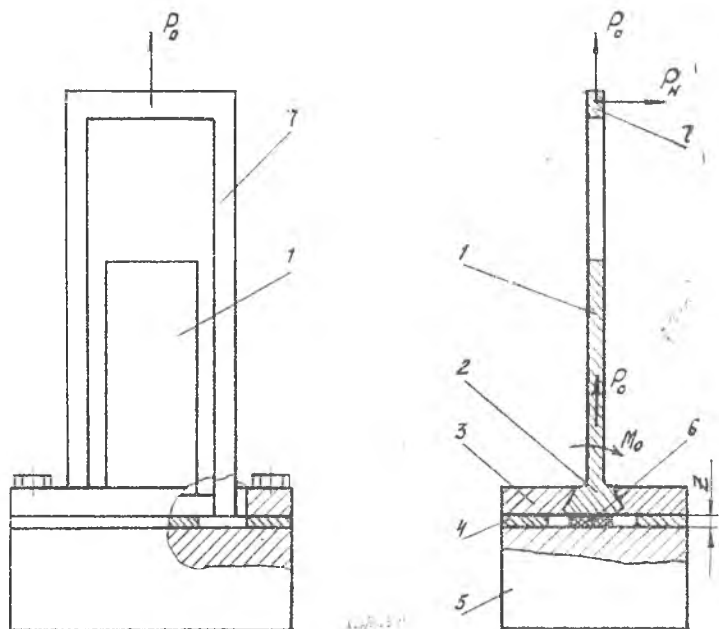


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В качестве величины, характеризующей демпфирующие свойства лопаток, был принят логарифмический декремент колебаний. Он определялся по результатам обработки резонансной кривой, снятой на фиксированном уровне действующей на перо возбуждающей силы с учетом фиксированных величин статических нагрузок, действующих на замок. Сопоставление демпфирующей способности исследуемых вариантов производилось при одинаковой величине статических нагрузок на крепление и одинаковом уровне вибронпряжений в заделке.

Исследования проводились с демпфирующими элементами, для изготовления которых использовался трос, свитый из

42 проволоки диаметром 0,15 мм (материал проволоки — сталь 1Х18Н10Т). Такой демпфирующий элемент имеет высокую жесткость при большом числе подвижных контактов, усилие на которых создается натяжением проволок в процессе свивки троса и последующей его опрессовки под определенным давлением.

Отдельные элементы из троса могут использоваться как самостоятельные демпферы или набираться в пакеты и скрепляться фольгой.

В тросовом демпфере поглощение энергии колебаний происходит на контактных поверхностях проволок при циклическом сжатии троса. Ввиду большой жесткости троса на сжатие и наличия подвижных контактных поверхностей между проволоками тросовый демпфер способен совершать значительную работу трения при сравнительно малых перемещениях. Так, обработка и анализ статических циклов, снятых с элемента троса, показывают, что коэффициент поглощения составляет величину порядка 1,5—2 на перемещениях до 3 мк. При этом его максимум смещается в сторону меньших амплитуд деформаций демпфера, что свидетельствует об эффективности работы такого демпфера на смещениях менее одного микрометра. По-видимому, эти смещения реализуются или могут быть реализованы в некоторых конструкциях замковых соединений лопаток компрессора.

Для выявления таких конструкций исследовались модели лопаток с замками, имеющие углы скоса рабочих граней 30° и 60° и скругленные опорные поверхности (цилиндрический замок). Кроме того, в отдельных случаях на контактную поверхность замков наносилась твердая смазка на основе двусернистого молибдена.

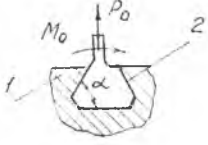
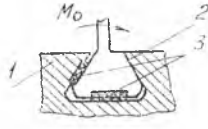
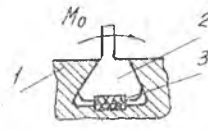
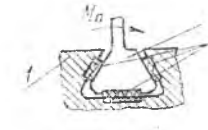
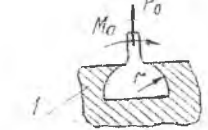
Схемы исследуемых компоновок и соответствующие им декременты колебаний при максимальных статических нагрузках на замок представлены в таблице.

Результаты экспериментов показывают, что для всех компоновок характерно резкое снижение демпфирования при увеличении статических моментов и осевых сил, действующих на замок. Однако, как видно из таблицы, наличие в замке элементов из троса обуславливает существенное увеличение демпфирования во всех компоновках. Это означает, что в исследуемых замках реализуются перемещения, необходимые для эффективной работы демпфера.

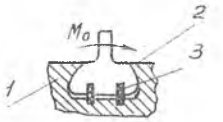
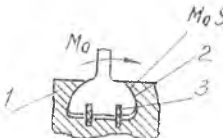
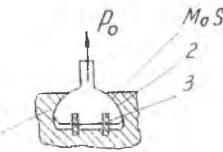
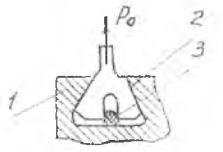
Специальные мероприятия по увеличению подвижности соединения (например, применение цилиндрического замка

или нанесение смазки на рабочие поверхности) способствуют резкому возрастанию величины демпфирования (компоновки 7, 8). Следует отметить, что при этом наблюдался износ смазочного слоя и демпфирование снижалось до уровня компоновки 6.

Таблица 1

№ п.п.	Компоновка (1 — диск; 2 — замок; 3 — демпфер)	Статическое усиление на замке	Декремент колебаний при уровне резонансных напряжений 10 кгс/мм ²
1		$\alpha = 60^\circ$	$M_0 = 860 \text{ кгс}$ $P_0 = 1000 \text{ кгс}$ $0,002 \div 0,004$
2		$\alpha = 60^\circ$	$M_0 = 860 \text{ кгс}$ $0,030 \div 0,035$
3		$\alpha = 60^\circ$	$M_0 = 860 \text{ кгс}$ $0,034 \div 0,053$
4		$\alpha = 60^\circ$	$M_0 = 860 \text{ кгс}$ $0,040 \div 0,070$
5		$r = 3,5$	$M_0 = 860 \text{ кгс}$ $P_0 = 1000 \text{ кгс}$ $0,005 \div 0,008$

Продолжение табл. 1

№ п.п.	Компоновка (1 — дпск; 2 — замок; 3 — демпфер)	Статическое усиление на замке	Декремент колебаний при уровне резонансных напряжений 10 кгс/мм ²	
6		$\gamma = 3,5$	$M_0 = 860$ кгсм	$0,060 \div 0,110$
7		$\gamma = 3,5$; смазка M_0S_2	$M_0 = 860$ кгсм	$0,215 \div 0,330$
8		$\gamma = 3,5$; смазка M_0S_2	$P_0 = 1000$ кгс	$0,120 \div 0,141$
9		$\alpha = 60^\circ$	$P_0 = 1000$ кгс	$0,070 \div 0,120$

При действии на замок типа «ласточкин хвост» статических моментов не зафиксирована зависимость величины демпфирования от величины угла скоса рабочих граней, что имеет место при действии центробежных сил [1]. Однако переходом на цилиндрический замок и в этом случае демпфирование возрастает.

Выводы

1. Демпфирующее устройство из троса способно интенсивно поглощать энергию колебаний. Введение тросовых элементов в замок увеличивает демпфирующие свойства лопаток.
2. С точки зрения получения высоких демпфирующих свойств лопатки наиболее перспективен замок со скругленными опорными поверхностями. Сочетание такого замка с тросовым демпфирующим элементом способствует увеличению демпфирования лопаток за счет подвижки замка и высоких демпфирующих свойств элемента троса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов В. А. О замковом демпфировании компрессорных лопаток. Труды КуАИ, вып. 51, 1972.
2. Иванов В. П., Огородов В. Т. Высокочастотный воздушный вибростенд. Труды КуАИ, вып. XIX, 1965.

УДК 621.886:4.001.24

В. М. Чернышев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ ПЛАСТИН, ДЕМПФИРОВАННЫХ ЖЕСТКИМИ ПОЛИМЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ, И СТЕРЖНЕЙ С МЯГКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Динамическая напряженность тонколистовых металлических конструкций, подверженных интенсивным вибрационным и ударным нагрузкам, может быть существенно снижена путем применения демпфирующих покрытий из пластмасс или специальных вибропоглощающих материалов.

Поскольку эффект покрытий определяется, главным образом, степенью вызываемого ими увеличения рассеяния энергии колебаний, далее решается задача определения вибропоглощающих свойств систем с демпфирующими покрытиями (коэффициента поглощения ψ и рассеянной за цикл энергии Ψ). Рассматриваются пластины с жесткими полимерными покрытиями и стержни, демпфированные слоем мягкого материала с высокими вибропоглощающими свойствами и скреп-