

В. А. ФРОЛОВ

О ЗАМКОВОМ ДЕМПФИРОВАНИИ КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК

Энергетические потери лопаток турбомашин при их колебаниях обусловлены рядом факторов, одним из которых являются потери в замковых соединениях. Усилия, возникающие на контактных поверхностях крепления, доходят иногда до 65—70 *дан/мм²* [1], и можно предполагать, что в результате совместного действия сил трения на контактных поверхностях при их взаимном циклическом микросмещении и рассеяния в микрообъемах материала хвостовика лопатки и выступа диска совершится необратимая работа, достаточная для глушения колебаний.

В литературе нет единодушного мнения о демпфирующей способности различных замковых соединений. Одни авторы утверждают, что возможно замковое демпфирование в условиях больших нагрузок [2, 3, 6 и др.], другие делают вывод, что демпфирование отдельной лопатки происходит только в материале пера, рассеяние же энергии в заделке ничтожно мало [4, 5].

В настоящей статье приводятся некоторые результаты исследований демпфирующей способности лопаток компрессоров с наиболее распространенным креплением — замком типа «ласточкин хвост» и его разновидностью — скругленным «ласточкиным хвостом» (цилиндрическим замком).

Так как замковое демпфирование осуществляется на рабочих (несущих) поверхностях замкового соединения, то оно в значительной степени зависит от конструктивных параметров замка и силовых факторов, действующих в нем. Последнее обстоятельство вызывает необходимость проведения исследований в условиях силового нагружения замка, что приводит к определенным трудностям при создании экспериментальной установки. При имитации реального и тарированного нагружения замкового соединения центробежной силой не должны накладываться дополнительные связи. Установка должна обеспечивать постоянный контроль за величиной нагрузки, возбуждение лопатки с достаточно большой

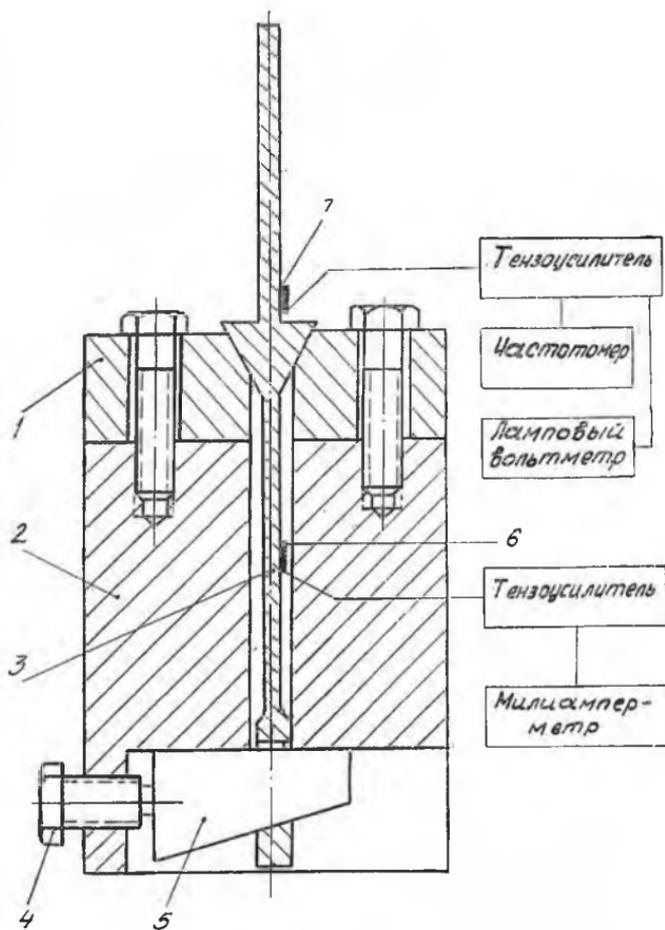


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

амплитудой напряжений, замер демфирующей способности лопаток при минимуме потерь в самой установке. Кроме того, в ней должна быть предусмотрена возможность исследований лопаток с различными замками, а также с демпферами, расположенными на их опорных поверхностях.

Изготовленная в лаборатории вибропрочности КуАИ экспериментальная установка при сравнительно несложном грузочном устройстве позволяет на моделях исследовать демфирующие способности лопаток с различными замками при реальных условиях нагружения.

Блок-схема такой установки приведена на рис. 1.

Сменный элемент диска 1 жестко крепится к массивной станине 2. В исследуемый замковый паз вставляется модель

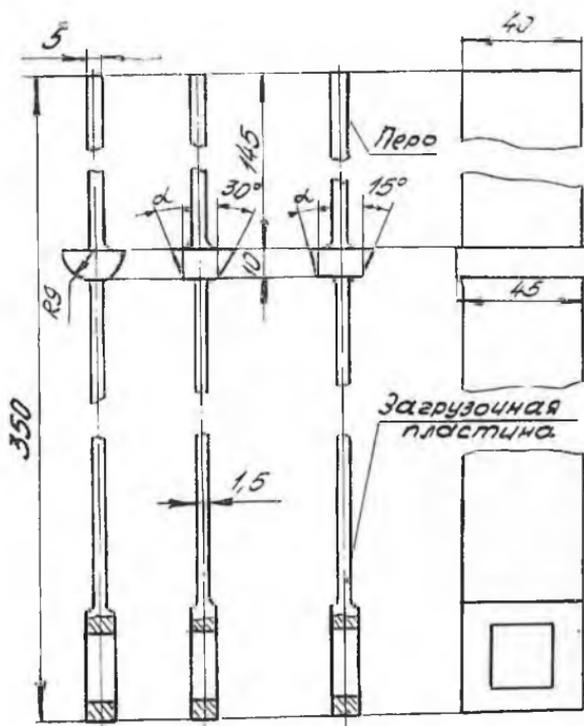


Рис. 2. Модели лопаток

пряжений и частоты колебаний осуществлялся проволоочным тензодатчиком (7), наклеенным в корневой части пера, и соответствующей аппаратурой высокого класса.

В качестве величины, характеризующей демпфирующее свойство лопаток, принят логарифмический декремент колебаний модели, определяемый по параметрам резонансной кривой, снятой на фиксированном уровне возбуждения. Сравнение демпфирующей способности разных типов креплений производилось при одинаковой величине осевой нагрузки на замок (центробежная сила) и одинаковом уровне напряжений у заделки (момент заделки).

При исследовании возможностей повышения демпфирования в замке, контактные поверхности покрывались твердой смазкой на основе дисульфидного молибдена. Кроме того, между контактными поверхностями замка размещался многослойный пакет прямых пластин, который образовывал «слоеный стык» (рис. 3). Предполагалось, что за счет имитации расслоения материала в замке демпфирование резко возрастет.

Результаты экспериментов приведены на рис. 4—7, как функции логарифмических декрементов от величины действующей на замок нагрузки, отнесенной к ширине замка. Из этих фигур вид-

лопатки 3. Загрузочным устройством 4 и 5 создается необходимое осевое усилие, которое измеряется тензодатчиком 6 и соответствующей аппаратурой.

Для исследования влияния формы замка на демпфирующую способность лопаток использовались модели с разными замками (рис. 2).

Выполнение лопаток за одно целое с нагрузочной тарированной пластиной, имеющей малую жесткость на изгиб в плоскости колебаний, позволило свести к минимуму потери энергии вне лопатки.

Лопатка возбуждалась воздушным вибростендом типа КуАИ-ВВ [8]. Замер уровня на-

но, что наибольшей демпфирующей способностью обладает лопатка, имеющая замок с цилиндрическими опорными поверхностями.

Демпфирующая способность всех лопаток несколько повышается при нанесении смазок на контактные поверхности замков. Наличие же нескольких поверхностей контакта («слоеный стык»), каждая из которых имеет покрытие твердой смазкой, приводит к резкому увеличению демпфирующей способности. С увеличением числа прокладок больше 8 демпфирование возрастает слабо. Оптимальное число прокладок — 5—6. Толщина прокладок практически не влияет на демпфирующую способность лопатки.

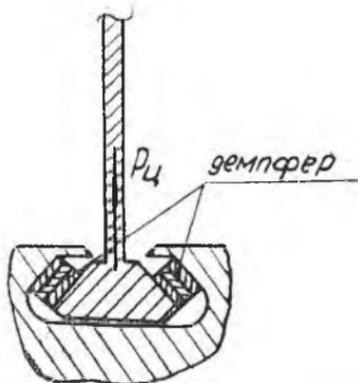


Рис. 3. Лопатка с демпфером в замке

На рис. 8 приведена зависимость рассеяния в замковом соединении от величины нагрузки на замок после обработки результатов эксперимента методом двух проб [7]. В этом эксперименте использовался замок с углом скоса рабочих граней в 30° , с демпфером в виде набора пластин из 5 штук. Как видно, демпфирование в замке резко падает, и при реальных нагрузках он не является демпфером колебаний лопаток.

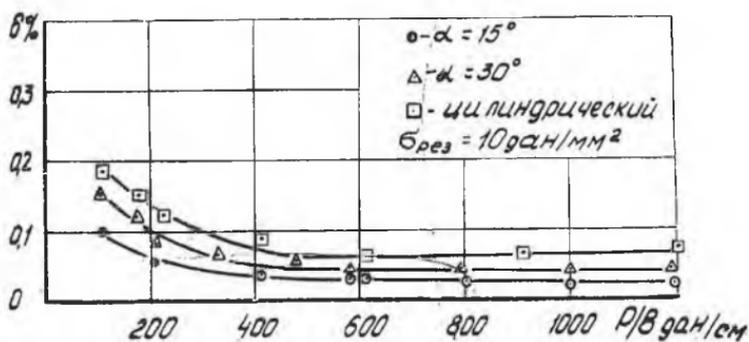


Рис. 4. Зависимость декрементов колебаний лопатки от величины нагрузки на замок для разных типов креплений

Исследования показали, что за счет конструкции замкового соединения демпфирующую способность лопаток компрессоров можно изменить в несколько раз, но величина декрементов остается довольно низкой, резко падает с увеличением центробежных сил и соизмерима с рассеянием энергии в материале пера. Попытка увеличения демпфирующей способности лопаток за счет использо-



Рис. 5. Зависимость декрементов колебаний лопатки от величины нагрузок на замок ($\alpha = 15^\circ$)



Рис. 6. Зависимость декрементов колебаний лопатки от величины нагрузки на замок ($\alpha = 30^\circ$)

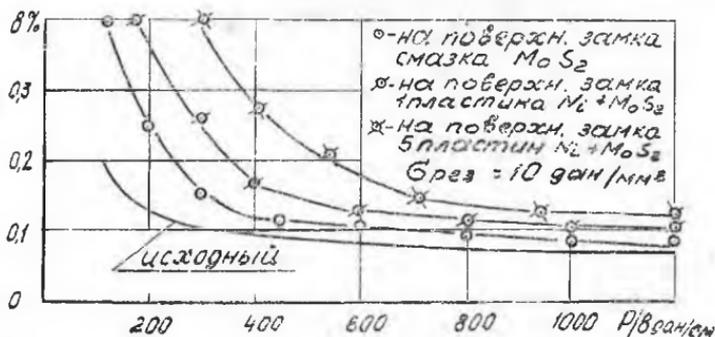


Рис. 7. Зависимость декрементов колебаний лопатки от величины нагрузки на замок (цилиндрический)

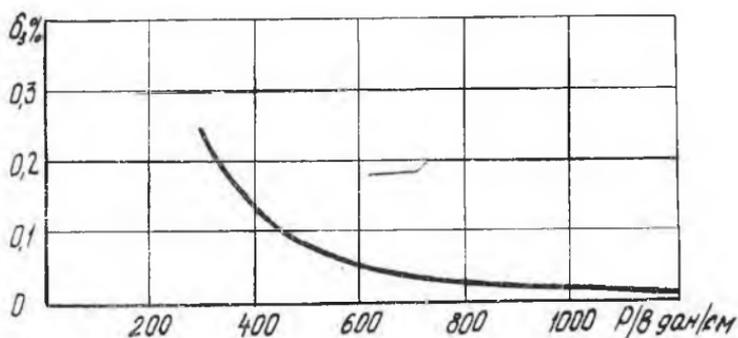


Рис. 8. Зависимость декрементов замка от величины нагрузки

вания высоких контактных давлений на рабочих поверхностях замка сопряжена с рядом трудностей и также не приводит к желаемым результатам. Таким образом, влияние замкового демпфирования на интенсивность колебаний компрессорных лопаток незначительно.

С другой стороны, экспериментально установлено [3, 6 и др.], что у лопаток с замком типа «елка» демпфирующая способность на порядок выше, чем у лопаток с замком типа «ласточкин хвост». Анализ показывает, что в таких замках производится разгрузка первой пары зубцов. Тогда последующие воспринимают основную нагрузку, т. е. выполняют несущие функции, а первые несут небольшую часть нагрузки и осуществляют демпфирование. Следовательно, и в компрессорных лопатках надо также разделить функции замкового крепления — одни элементы должны нести нагрузку, а другие — демпфировать. С этой точки зрения наиболее перспективными можно считать шарнирное крепление или, в крайнем случае, скругленный «ласточкин хвост» в сочетании с удлиненной податливой ножкой. Возможность смещения в замке, а также податливость ножки обеспечат необходимые условия для работы демпфера.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Цейтлин. Труды КуАИ, вып. XIX, Куйбышев, 1965.
2. Н. Г. Калинин, Ю. А. Лебедев, Я. Г. Пановко, Г. И. Страхов. Конструкционное демпфирование в неподвижных соединениях. Изд. АН ЛССР, Рига, 1960.
3. В. В. Матвеев. Рассеяние энергии при колебаниях упругих систем, Киев, 1963.
4. А. В. Левин. Рабочие лопатки и диски паровых турбин, Госэнергоиздат, М.-Л., 1953.
5. А. Д. Коваленко. Сборник докладов по динамической прочности деталей машин». Изд. АН СССР, М.-Л., 1946.
6. К. А. Прокофьев, М. М. Епанечников, И. Л. Меерсон. Рассеяние энергии при колебаниях упругих систем, Киев, 1964.
7. В. П. Иванов, В. А. Фролов. Труды КуАИ, вып. XXXVI, Куйбышев, 1970.
8. В. П. Иванов, В. Т. Огородов. Труды КуАИ, вып. XIX, Куйбышев, 1965.