

УДК 621.321

НИЗКОЧАСТОТНАЯ ВИБРАЦИЯ РОТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Адинцова Я.П., Ерёменко М.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

При вращении ротора паровой турбины даже при небольшом его отклонении от концентричного положения, на ротор начинают действовать силы со стороны смазочного слоя подшипников и рабочего тела в проточной части.

Силы упругости стремятся вернуть ротор в прежнее положение, а дестабилизирующие силы действуют перпендикулярно отклонению, заставляя ротор отклоняться по другой координате и совершать прецессию (вращение вокруг центра равновесия), которая происходит с частотой равной половине оборотной. Такая вибрация с частотой 25 Гц называется низкочастотной вибрацией (НЧВ) [1, 2].

В зависимости от источника возбуждающих сил различают два вида НЧВ [2]:

- «масляная вибрация», которая вызвана только гидродинамическими возбуждающими силами в подшипниках скольжения;
- «паровая вибрация», которая вызвана совместным действием возбуждающих сил в подшипниках и газодинамических сил в проточной части.

Масляная НЧВ, вызываемая гидродинамическими силами в подшипниках, проявляется при выходе на холостой ход. Иногда масляная НЧВ появляется при разгрузке какого-либо подшипника в результате тепловых расцентровок опор, то есть после взятия нагрузки. НЧВ этого типа может проявляться на гибких роторах среднего и низкого давления, а также ротора генератора, где газодинамические силы незначительны.

В [2] рассматривается поведение шейки ротора 1 в расточке вкладыша подшипника 2 с точки зрения действующих на нее сил (рисунок 1, а, б).

При увеличении частоты вращения шейка ротора 1 начинает всплывать в расточке 2 под действием статических гидродинамических сил. При этом всплытие происходит не вертикально, а со смещением по горизонтали, как показано на рисунке 1, а. Горизонтальное смещение шейки происходит из-за несимметричного течения смазки в зазоре, которая справа течет в конфузорной области, а слева – в диффузорной. Таким образом, при повышении частоты вращения шейка перемещается по кривой 1 на рисунке 1, б, называемой кривой подвижного равновесия (КПР).

В [2] отмечается, что чем меньше вертикальная нагрузка, чем больше вязкость смазки, и чем меньше зазор, тем быстрее всплывает цапфа.

Кривая подвижного равновесия обладает следующим важным свойством. Если шейка находится ниже точки Е (рисунок 1, б) на КПР (точка М), то любое смещение ее из положения равновесия не вызывает возмущающих сил, способствующих развитию НЧВ. Если же шейка находится выше точки Е, например, в точке N, любое случайное отклонение шейки вызывает силы,

отклоняющие ее в перпендикулярном от смещения направлении, и, если эти силы окажутся больше, чем силы демпфирования, возникнет НЧВ.

Таким образом, чем ниже находится цапфа в расточке, то есть чем больше коэффициент нагруженности S , тем ротор устойчивее.

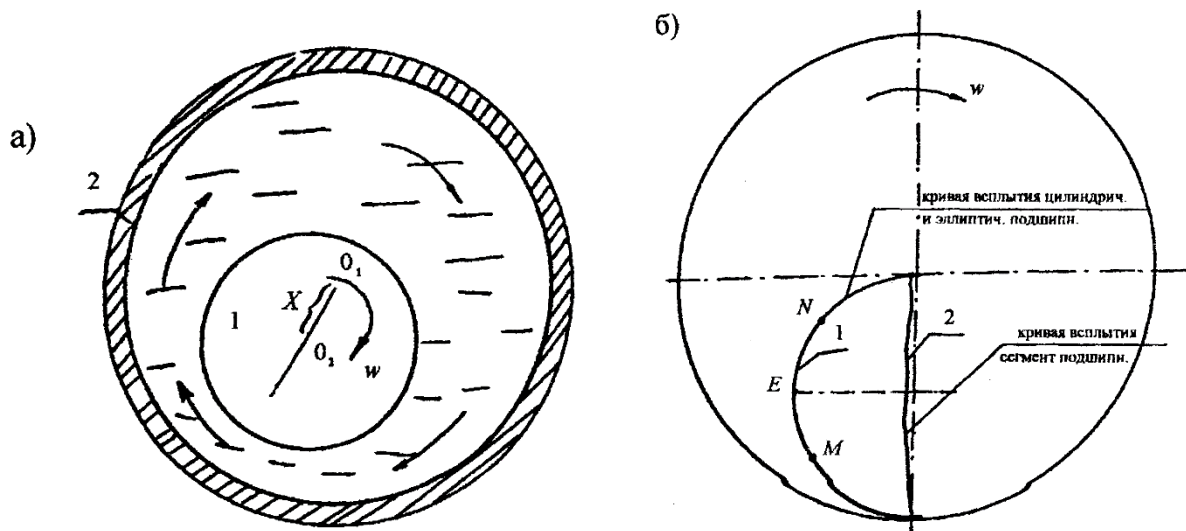


Рисунок 1 – Поведение шейки вала (1) во вкладыше подшипника (2)

Следовательно, для обеспечения устойчивости к «масляной» вибрации необходимо уменьшать вязкость смазки (повышать ее температуру), увеличивать удельное давление на подшипник и увеличивать значение горизонтального зазора, характеризующего диаметр расточки.

На всех современных турбоагрегатах для увеличения устойчивости применяется не цилиндрическая расточка подшипника, а эллиптическая.

Для получения эллиптичности при расточке подшипника в разъем вкладышей устанавливаются прокладки толщиной A . После расточки прокладки вынимаются и вертикальный зазор становится меньше горизонтального на величину A . При этом под верхним вкладышем образуется дополнительный смазочный клин, благодаря которому шейка вала расположена ниже в расточке. Кроме того, верхний клин увеличивает демпфирование, что оказывает стабилизирующее действие.

Эксперименты и расчеты показывают [2], что оптимальным значением степени эллиптичности является: $\varepsilon = 0,6 - 0,7$. Большая цифра относится к легконагруженным подшипникам.

В современном турбостроении стало традиционным выполнять в верхнем вкладыше выточку для охлаждения смазки, так называемый «холодильник». Исследования [2] показали, что такая конструкция не является оптимальной ни по устойчивости, ни по экономичности. Целесообразно выполнять верхний вкладыш сплошным. При тенденции к возникновению НЧВ это надо делать обязательно.

В качестве временной меры можно повысить на $5 - 8^{\circ}\text{C}$ температуру масла на входе в подшипник, если не появятся ограничения по температуре баббита опорных и упорного подшипников.

В заключение отметим, что радикальным средством снижения масляной НЧВ является установка роторов на подшипники с качающимися сегментами (сегментные подшипники), показанные на рисунке 2.

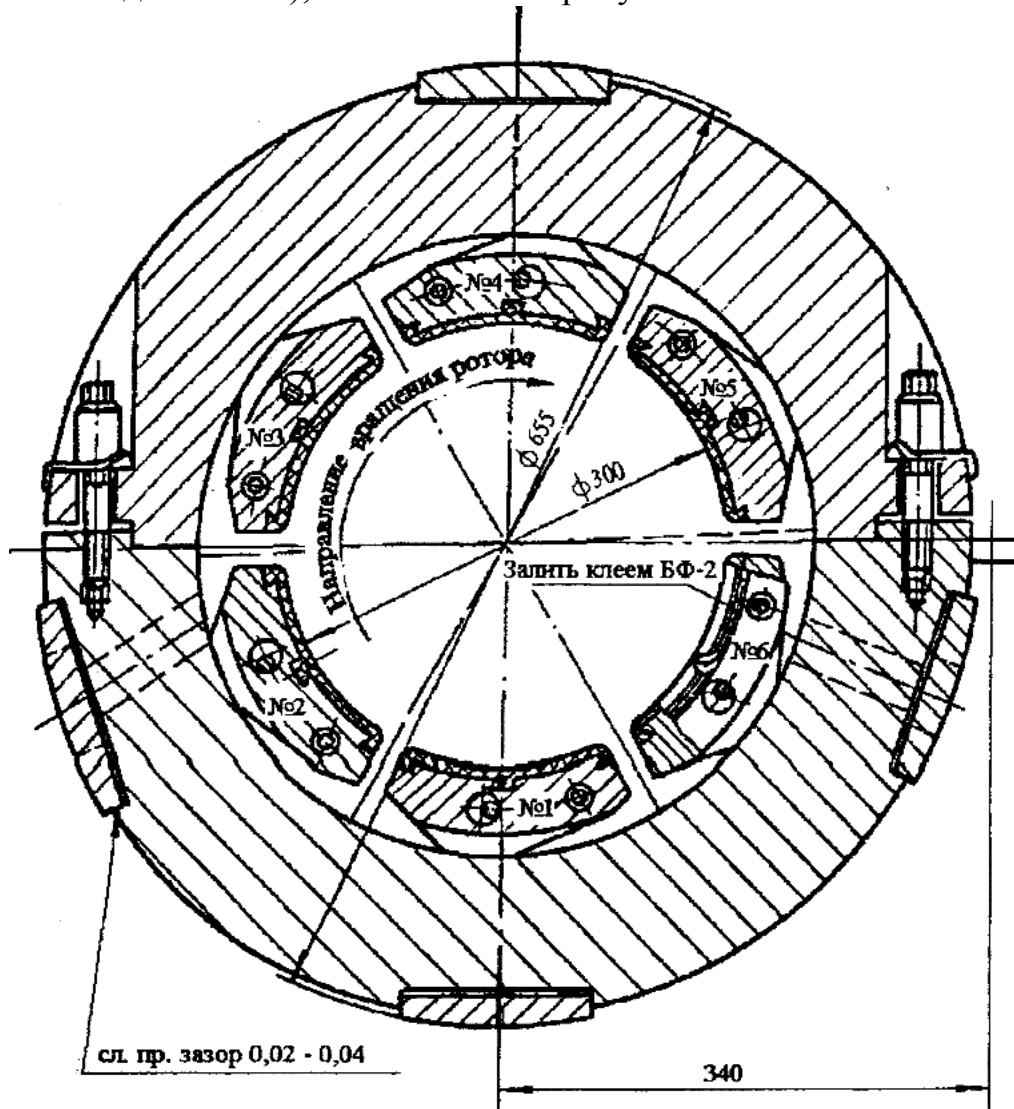


Рисунок 2 – Подшипник с качающимися сегментами

Траектория всплытия шейки в таких подшипниках – прямая линия, что указывает на отсутствие возмущающих сил смазочного слоя, то есть подшипник играет роль демпфера.

Литература

1. Рекомендации по устранению низкочастотной вибрации роторов энергетических турбин / В.И. Олимпиев и др. // Л.: Изд. ЦКТИ, 1976.
2. Повышение эффективности эксплуатации паротурбинных установок ТЭС и АЭС. Том 2. Диагностика паровых турбин / Л.А. Хоменок, А.Н. Ремезов, И.А. Ковалев и др. Под ред. Хоменок Л.А. – СПб.: Изд. ПЭИпк, 2002. – 264 с.