

«Сейфуллин окулары – 12: Ғылым жолындағы жастар-болашақтың инновациялық әлеуеті» атты Республикалық ғылыми-теориялық конференция материалдары = Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения-12: Молодежь в науке - инновационный потенциал будущего" . – 2016. – Т.1, ч.3 – С. 156-160

К ОЦЕНКЕ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТУРБОАГРЕГАТА

Айтмагамбетова М.Б.

Надежность и экономичность эксплуатации турбоагрегатов в значительной степени определяются их вибрационным состоянием.

Неуравновешенность может появиться после ремонта ротора турбины в результате:

- снятия с вала и посадки на него дисков, полумуфт и других крупных деталей;
- частичного или полного перелопачивания ротора или удаления лопаток;
- правки вала (независимо от достигнутой точности).

Вибрационное состояние агрегата должно определяться при вводе его в эксплуатацию после монтажа, перед выводом агрегата в капитальный ремонт и после капитального ремонта. При отличном и хорошем вибрационном состоянии агрегата периодичность замеров вибрации должна составлять 1 раз в 3 мес. При заметном повышении вибрации подшипников замеры должны производиться по особому графику.

Неблагоприятное действие вибрации оказывается также на работе системы регулирования турбины и приборов контроля.

Для оценки вибрационного состояния турбоагрегата уровень вибрации должен определяться не только на рабочих числах оборотов, но и при прохождении турбиной критического числа оборотов. Исследования показали [1], что переход системы «ротор — опоры» через критические скорости в процессе пуска и останова агрегата может сопровождаться весьма значительным увеличением амплитуды колебаний. Хотя в данном случае повышенная вибрация действует относительно кратковременно, однако нескольких пусков и остановов машины с недопустимо большими амплитудами колебаний ротора на критических скоростях может оказаться достаточным для приведения в негодность паровых и масляных уплотнений. В худших случаях возникают задевания в проточной части турбины, появляется остаточный прогиб ротора, разрушается баббит вкладышей подшипников.

Вибрационные исследования турбоагрегата выполняются по типовой программе, цель которой - получение ряда вибрационных характеристик, анализ которых позволит установить причины повышенной вибрации агрегата [2].

Проведение периодических виброобследований позволяет выявить возникновение изменений в вибрационном состоянии турбоагрегата,

определить их причину и дать рекомендации о нормализации вибросостояния.

Цель проведения виброобследования перед ремонтом - выявить или уточнить наличие дефектов узлов турбин, например теплового прогиба, тепловой нестабильности ротора, стесненности тепловых расширений цилиндров, ослабления соединения опоры и фундамента, и определить объем необходимых ремонтных работ.

Цели проведения виброобследования после ремонта:

1. Определить, устранены ли во время ремонта неисправности, имевшие место до ремонта.

2. Проверить, не появились ли на турбине дефекты, возникшие в процессе ремонта, например нарушение сборки валопровода (спаровки роторов), дефекты центровки, нарушения величины зазоров в проточной части.

Повышенная вибрация вызывает нарушения в работе всего турбоагрегата. При повышенной вибрации возможны задевания ротора о статорные детали. Даже при небольших и кратковременных задеваниях происходит износ уплотнений, увеличиваются радиальные зазоры в проточной части и, как результат этого, снижается экономичность. При значительных задеваниях может произойти прогиб ротора или разрушение лопаточного аппарата. При сильной вибрации возможны нарушения надежности соединения отдельных деталей и узлов: роторов в валопроводе, крышки и корпуса подшипника, нижней и верхней половин вкладыша и т. д.. Сильно вибрирующая турбина или насос приводят к вибрации площадок обслуживания и значительно ухудшают условия труда персонала. Вибрация агрегата, особенно низкочастотная, может привести к разрушению элементов фундамента.

Опыт эксплуатации показывает, что примерно 20 % времени вынужденных простоев связано с вибрационной наладкой. Особенно больших затрат требует вибрационная наладка турбоагрегатов новых конструкций.

Одной из наиболее важных технологических операций, при помощи которых вибрация агрегата доводится до нормы, является динамическая балансировка роторов. В задачу динамической балансировки входит устранение повышенной вибрации машины, возникающей от неуравновешенности ее вращающихся частей. Главными причинами появления неуравновешенности у роторов турбин и генераторов являются:

а) нарушения круговой симметрии сечений ротора, заложенные в конструкции и возникающие из-за неточностей механической обработки и сборки;

б) прогиб, связанный с остаточными деформациями от механической и термической обработки поковки;

в) неравномерное смещение элементов обмотки ротора (витков катушек и клиньев, изоляционных прокладок);

г) ослабление посадки бандажных и центрирующих колец, турбинных дисков и полумуфт;

д) упругий прогиб ротора из-за неравномерного нагрева или охлаждения его по сечению (так называемая тепловая разбалансировка).

На практике процесс статической балансировки роторов при помощи устройств с линейными опорами выполняют в пять стадий:

- 1) грубая балансировка;
- 2) точная балансировка;
- 3) выбор расположения и величины рабочих уравнивающих грузов;
- 4) установка и крепление рабочих уравнивающих грузов;
- 5) контроль качества балансировки;

Грубая балансировка выполняется с целью устранения явной неуравновешенности ротора без учёта сил сопротивления, препятствующих его обкатыванию на опорах. Грубая балансировка производится следующим образом. Ротор помещают на устройство так, чтобы его ось вращения располагалась горизонтально и перпендикулярно линейным опорам. Желательно чтобы ротор был надет на собственный рабочий вал. В случае невозможности выполнения этого требования ротор крепится на специально изготовленную оправку. Если вал ротора имеет разные диаметры опорных шеек, то на меньшую из них вытачивают выравнивающую втулку. В исходном состоянии ротор располагают в средней части устройства и предоставляют возможность свободно перекатываться по линейным опорам. Под действием статического момента ротор будет совершать колебательные перекатывающие движения до тех пор, пока не займёт положение, близкое к равновесию.

В том случае если ротор, перемещённый на балансировочное устройство, не перекатывается по линейным опорам, его необходимо повернуть (в любую сторону) на 90^0 или сообщить лёгкий толчок для преодоления сил трения покоя [3].

Если бы отсутствовали силы сопротивления, препятствующие перекатыванию ротора на опорах, его смещённый центр тяжести расположился бы в самой нижней точке траектории движения, т.е. в нижней части вертикали, пересекающейся с осью вращения. В реальных условиях центр тяжести ротора будет находиться вблизи точки равновесия. Для установления положения смещённого центра тяжести на торцевой поверхности ротора, после того как он займет положение равновесия, наносится меловая метка I (рис. 1), которая должна совпадать с вертикальной линией, опущенной из центра вращения. Затем ротор поворачивают в любую сторону на 90^0 (при этом метка I займёт горизонтальное положение слева или справа от оси вращения) и предоставляют ему возможность свободного перекатывания на опорах. Новое положение равновесия отмечают меткой 2. Операцию повторяют еще раз, при этом ротор располагает на опорах таким образом, чтобы исходная метка I находилась в горизонтальной плоскости с

После устранения неуравновешенности ротора приступают к выполнению второй стадии - точной балансировки. Точная балансировка осуществляется с целью устранения скрытой неуравновешенности ротора, которая из-за наличия сил, препятствующих свободному перекачиванию ротора на опорах, не приводит к его вращению.

Второй этап балансировки считают законченным, если определены величина и место установки корректирующего груза. После него приступают к определению места расположения и величины рабочего уравнивающего груза.

В некоторых случаях при выполнении балансировки к ротору крепится не один, а несколько уравнивающих рабочих грузов. Однако следует стремиться к тому, чтобы их, количество было минимальным, т.к. увеличение числа грузов усложняет процесс их подбора.

Третий этап балансировки начинают с выбора места установки рабочего уравнивающего груза. Место установки груза должно соответствовать требованиям безопасности, не нарушать нормальный режим работу оборудования и удовлетворять принятому способу крепления груза. После выбора места крепления рабочего уравнивающего груза определяют расстояние (R_{py}) от его центра массы до оси вращения ротора. Далее составляется расчетная схема уравнивания ротора (рис. 2) и рассчитывается масса рабочего уравнивающего груза (m_{py}). Величина рабочего уравнивающего груза определяется из условия, что создаваемая им центробежная сила по величине и направлению будет равна равнодействующей центробежных сил, возникающих от уравнивающего и корректирующих грузов.

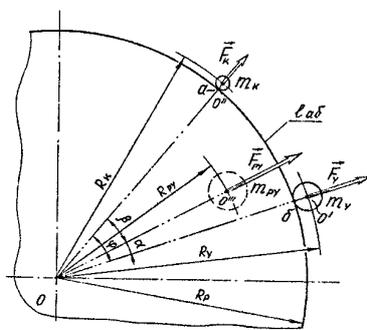


Рисунок 2. Расчётная схема уравнивания ротора

Четвёртой стадией балансировки является установка и крепление рабочего уравнивающего груза. Форма груза и способ его крепления к ротору определяется для каждого конкретного случая в отдельности. Если балансировка ротора осуществляется путём высверливания отверстия с его тяжелой стороны, то, зная массу удаляемого материала и диаметр сверла ($d_c = 2r_c$), можно, рассчитать глубину сверления:

В некоторых машинах для балансировки вращающихся частей в конструкциях, предусмотрено размещение на роторе двух одинаковых стационарных грузов, которые устанавливаются на одинаковом расстоянии от оси вращения и которые могут перемещаться по окружности.

Последней, стадией статической балансировки является контроль качества уравнивания ротора. Эта стадия выполняется следующим образом. Ротор после установки рабочего уравнивающего груза вновь помещается на балансировочное устройство. Правильно отбалансированный ротор должен пребывать в состоянии равновесия в любом положении. Поворачивая ротор на различный угол, следует убедиться в том, что он не будет перекачиваться по опорам из любого положения. Если данное требование выполняется, процесс статической балансировки считают законченным. В противном случае процесс балансировки повторяется.

Список литературы

1. Banaszkiwicz, Mariusz On-line monitoring and control of thermal stresses in steam turbine rotors // Applied thermal engineering. – 2016. – №5, Vol 94. – P. 763-776.
2. Молочек В.А. Ремонт паровых турбин. М.: Машиностроение, 1985 г.
3. Урьев Е.В. Основы надежности и технической диагностики турбомашин. Екатеринбург: УГТУ, 1996 г.