

УДК 621-752(031)

Н.В. Кияновский, д-р техн. наук, проф.,
Е.В. Бондарь, старший преподаватель
Криворожский технический университет

ВЫБОР МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ СТАЦИОНАРНОЙ ГОРНОЙ МАШИНЫ

Выполнен критический анализ существующих методик. Представлено описание нового метода. В предлагаемом способе внедрено усовершенствование методики измерений. Регистрируется факт превышения скорости роста амплитуд поперечных колебаний опор ротора. Это позволяет оперативно фиксировать факт появления дефектов и выполнить адекватную профилактику.

стационарная машина, ротор, диагностика, опора, ось, прецессия ротора

Проблема и её связь с научными или практическими задачами. Сегодня успех функционирования всего горного предприятия заключается, прежде всего, в обеспечении надежной и безотказной работы оборудования. Стационарные горные машины роторного типа, в своём большинстве, уже давно исчерпали свой эксплуатационный ресурс и являются наиболее опасным и ответственным видом оборудования, к которому предъявляются жесткие требования работы. Всё это обуславливает внедрение новых методов диагностики технического состояния и технического обслуживания, достоверности диагностических и мониторинговых данных.

Анализ исследований и публикаций показал, что решению вопросов надежности и оценки качества эксплуатации стационарных горных машин посвящены многие работы. В них рассматривается, что в процессе эксплуатации техническое состояние машины находится под влиянием факторов направленных на его изменение. Изменение состояния является следствием воздействия разных факторов, которые зависят от условий эксплуатации и влияния нагрузок, что возникают во время работы [1]. Недостатком этих существующих (во многих случаях стандартизированных) методов диагностики являются:

- недостоверные методы получения диагностической информации;
- недостаточная обоснованность диагностических моделей горного оборудования;
- неисследованность свойств передающих функций диагностических моделей.

Установленные недостатки усложняют интерпретацию диагностической информации и требуют новых методов диагностики технического состояния.

Постановка задачи. Предлагается существующие методы диагностики дополнить методом регистрации появления нарушений параметров (разрушений) конструкций роторных машин осуществлять путём оценки постоянства положения её оси вращения. Под действием повреждений увеличивается динамический дисбаланс ротора. Поэтому считается, что наиболее информативной в этом случае является роторная частота (первая гармоника) колебаний.

Возникает большое количество ограничений существующих методов: во-первых, они фиксируют лишь одно нарушение целостности механической системы - отрыв цапфы вала от подшипника [2], во-вторых - контролируют отклонение оси от вертикального положения [3], в то время как реальное большинство машин имеет горизонтальное расположение оси роторного механизма и появление повреждения опорных деталей, отрыва анкерных конструкций приводит к преобладающему увеличению податливости конструкций в горизонтальной плоскости за счет возникновения дополнительных динамических нагрузок.

Изменение траектории оси ротора в пространстве, которое возникает под действием разных факторов, изображается в виде так называемых Фигур Лиссажу (рис.1) [4]. Эллипс фигуры во всех случаях будет характеризовать наличие основной гармоники колебаний, причём направление его большей оси определяет направление повышенной податливости опоры. Переход эллипса в прямую линию характеризует резонансные колебания в заданном направлении (рис. 1, а, б). Вытянутый с заострёнными ярко светящимися концами эллипс был зафиксирован при ослаблении крепления опоры (рис. 1, в). Появление на эллипсах ярко светящихся пятен (рис. 1, г, д) характеризует задевание вращающихся деталей о неподвижные элементы статора. Появление восьмерок определяет присутствие второй гармоники колебаний (рис. 1, е).

Таким образом, возникает задача усовершенствования данного метода за счет регистрации факта превышения скорости роста амплитуд поперечных колебаний опор ротора относительно других составляющих годографа прецессии оси ротора, что позволяет оперативно фиксировать факт появления дефекта и выполнять адекватную профилактику.

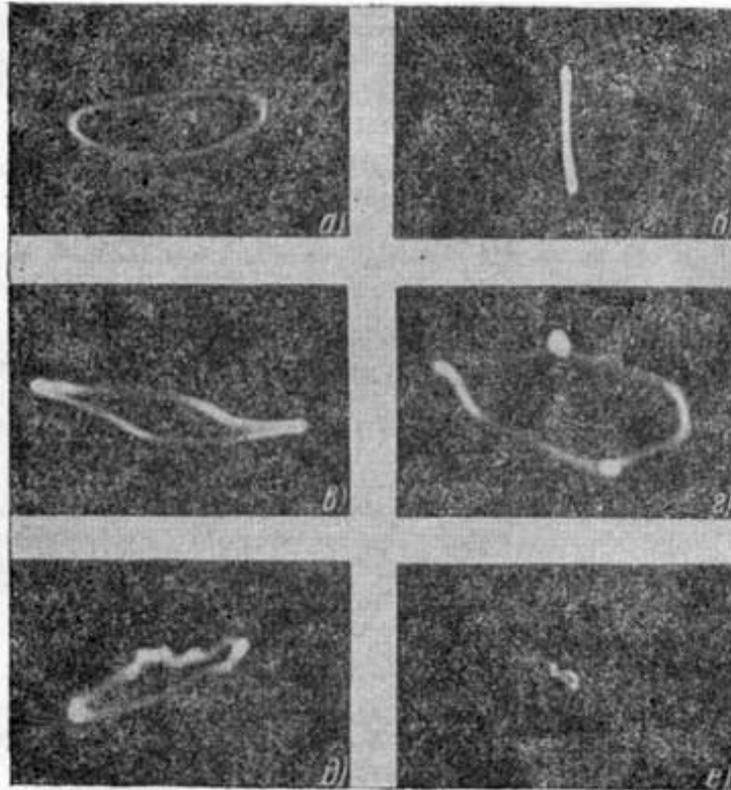


Рисунок 1. – Фигуры Лиссажу при различных причинах вибрации оборудования
 а – дисбаланс при повышенной чувствительности опоры в горизонтальной плоскости; б – вертикальные резонансные колебания;
 в – ослабления крепления опоры; г, д – задевание;
 е – магнитная несимметрия генератора второй гармоники

Изложение материала и результаты

Поставленная задача решается за счет непрерывной регистрации амплитуды колебаний оси ротора во всем диапазоне частот, определение ортогональных составляющих колебаний, регистрация годографа прецессии оси ротора.

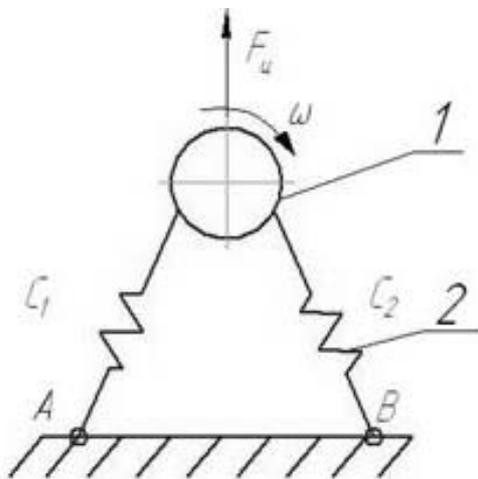


Рисунок 2. – Схема постоянства опор роторной машины в системе действующих сил

На рис. 2 представлена схема устойчивости опор роторной машины в системе действующих сил, в которой ротор 1 с массой m_p установлен на опоры А и В, с жесткостью опор ротора 2 соответственно c_1 и c_2 . При этом ротор вращается с круговой частотой ω и от действия центробежных сил $F_{ц}$ получает колебательное возбуждение с амплитудой y . В машине без повреждений прецессия ротора (годограф оси ротора) имеет форму вертикального

эллипса, так как к действующим силам добавляются лишь силы тяжести. При появлении повреждения корпусных опорных деталей изменяется жесткость опоры ротора в направлении повреждения. Это влияет на увеличение вибрации опоры ротора в направлении дефекта и отклонение (смещение) оси ротора в направлении повреждения, то есть изменяется характер прецессии ротора и, соответственно, годограф оси роторной машины.

Формула условия равновесия ротора имеет следующий вид

$$m_p \cdot \ddot{y} + c_1 \cdot y_1 + c_2 \cdot y_2 = F_u, \tag{1}$$

где m_p - масса ротора; ω - круговая частота вращения ротора; y - амплитуда колебаний ротора в направлении действия силы F_u ; F_u - вектор силы дисбаланса; А, В - опоры стационарной роторной машины; c_1, c_2 - характеристика жесткости соответствующих опор А и В;

Для качественной оценки соотношений колебаний ротора и опоры можно воспользоваться упрощенной схемой, представленной на рис. 3 [4].

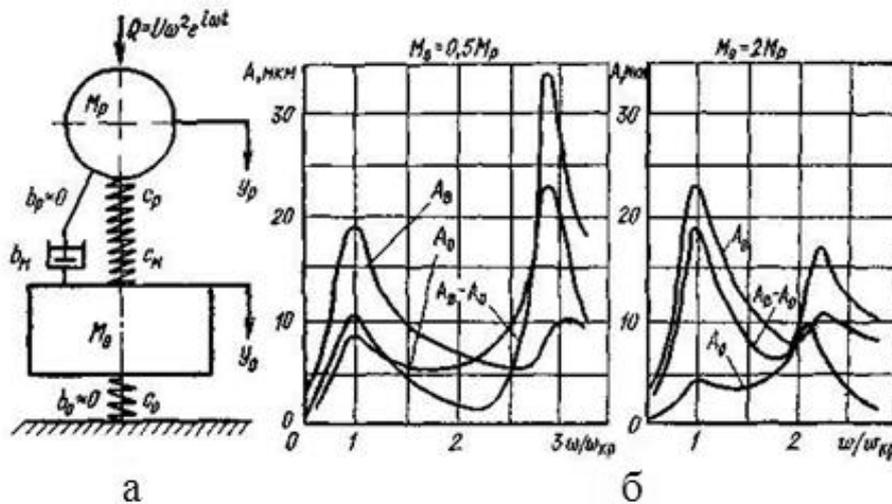


Рисунок 3. – Влияние масс ротора и статора на соотношение их колебаний при разном регулировании частоты возмущающей силы от критической частоты:

а – схема ротора; б – частотные характеристики A_B, A_0 – соответственно амплитуды виброперемещений ротора и опоры; $\omega/\omega_{кр}$ – частотное регулирование от критической частоты

Если пренебречь демпфированием материала ротора и опоры ($b_p = b_0 = 0$), то уравнение движения системы ротор - опора под влиянием сил дисбаланса $Q = U \cdot \omega^2 \cdot e^{i\omega t}$ может иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} M_p \ddot{y}_p^2 + b_m \cdot (\dot{y}_p - \dot{y}_0) &= U \cdot \omega^2 \cdot e^{i\omega t} \\ M_0 \ddot{y}_0^2 + b_m \cdot (\dot{y}_0 - \dot{y}_p) + (C_0 + C) \cdot y_0 - c \cdot y_p &= 0 \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

Здесь M_p и M_0 - массы ротора и опоры; y_p и y_0 - перемещения ротора и опоры; b_m - коэффициент демпфирования масляной пленки; C_0 - коэффициент жесткости опоры, C - приведенная жесткость ротора

$$C = \frac{c_p \cdot c_m}{c_p + c_m}, \quad (3)$$

где c_p - коэффициент жесткости ротора; c_m - коэффициент жесткости масляной пленки.

При решении системы уравнений (2) находим искомое соотношение между колебаниями ротора и опор A_B/A_0

$$\frac{A_B}{A_0} = \sqrt{\frac{\left[\frac{C_0}{C} + 1 - \left(\frac{M_0}{M_p} \right) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{кр}} \right)^2 \right]^2 + \left(\frac{b_m \cdot \omega}{c} \right)^2}{1 + \left(\frac{b_m \cdot \omega}{c} \right)^2}}, \quad (4)$$

где $\omega_{кр}$ - критическая частота вращения ротора на жестких опорах.

На рис. 4 изображен годограф оси ротора в роторной машине без повреждений опор, при условии $c_1 = c_2$. В случае возникновения повреждений опор ротора, при $c_1 \neq c_2$, происходит изменение положения годографа оси ротора как изображено на рис. 5. При этом при уменьшении c_i , которое бывает при частичном или полном разрушении опоры, для восстановления равновесия должна увеличиться y_i , что предопределяет рост горизонтальной составляющей прецессии ротора.

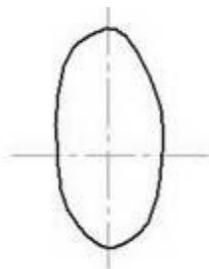


Рисунок 4. – Годограф оси ротора в роторной машине без повреждений опор

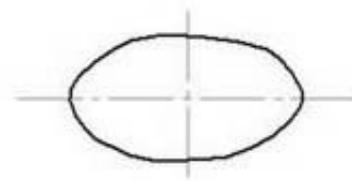


Рисунок 5. – Годограф оси ротора в роторной машине в случае возникновения повреждений опор

Данный метод реализуется следующим образом (рис. 6): при пуске в работу роторной машины, установленной на фундаменте 1 и раме 2, происходит возбуждение механических колебаний ротора. Колебания передаются на опору ротора 3 (стационарные части конструкции). Для контроля направления и величины механических коле-

баний на опоре устанавлюють два датчика горизонтальних 4 і вертикальних 5 перемещень.

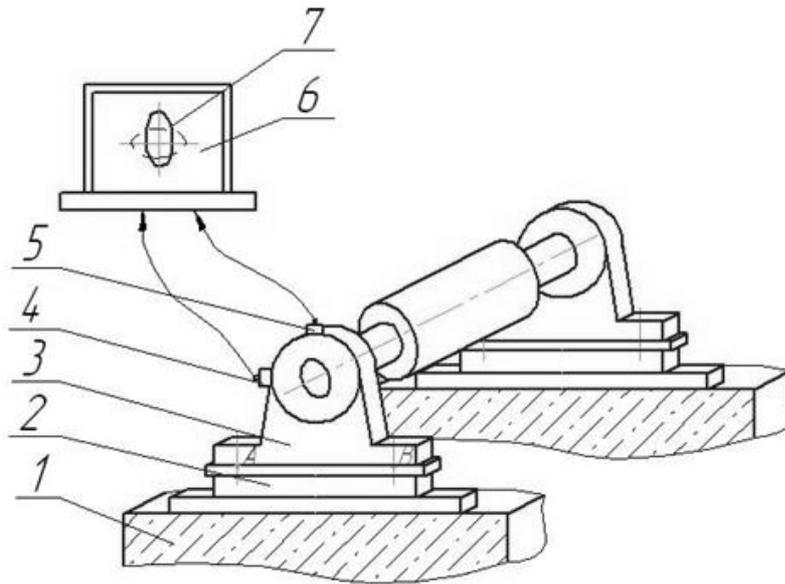


Рисунок 6. – Схема реализации метода безразборного определения изменения упруго-инерционных и демпфирующих свойств закрытых конструкций опор роторных машин

Во время работы на двухмерном анализаторе граничных траекторий 6 синхронно строится годограф прецессии ротора 7. При отсутствии скрытых повреждений, при синхронном составлении полученных с датчиков колебаний, амплитуд вертикальных и горизонтальных (поперечных) сигналов получают вертикально ориентированный годограф оси перемещений ротора, как следствие симметричной жесткости опор ротора А и В. В случае появления скрытых повреждений (трещин опор, разрушение рамы, опорных креплений) не выполняется условие симметричной жесткости опор и происходит увеличение горизонтальной составляющей колебаний в сторону, где изменилась (уменьшилась) жесткость опор. Этот факт фиксируется датчиком горизонтальных перемещений, увеличение сигнала на котором приводит к изменению формы годографа. Из вертикального эллипса он превращается в горизонтальный, что есть объективной диагностической информацией о появлении скрытого дефекта, на основании которого обслуживающий персонал или автоматика принимает решение относительно возможности дальнейшей эксплуатации или остановки роторной машины для профилактически - возобновительных работ.

Этот метод может быть реализовано на любой стационарной роторной машине.

Выводы и направления дальнейших исследований. Итак, применение данного метода диагностики повреждений, а именно, использование метода регистрации появления нарушений параметров (разрушений) конструкций роторных машин путем оценки постоянства положения её оси вращения позволяет: повысить информативность и достоверность диагностической информации, корректировать ресурс оборудования за счет выполнения своевременных плановых ремонтов по результатам диагностики, а также уменьшить простой оборудования, и как следствие увеличения его производительности, предотвратить аварийные разрушения и экстремальные затраты на ликвидацию последствий аварии.

Список источников:

1. Кельзон А.С., Жеравлёв Ю.Н., Январёв Н.В. Расчёт и конструирование роторных машин. – Л.: Машиностроение (Ленинградское отд-ние), 1977. – 288с.
2. А.с. СССР № 1654705 А1, кл. G 01 M1/12, 1991 Устройство для определения положения оси вращения ротора / А.А. Мороз, Ю.М. Журов, В.Ю. Ломоносов, Р.Ф. Титович (СССР) – 4684580/28, Заявл. 03.05.89.; Опубл. 07.06.91., Бюл. №21.
3. А.с. СССР № 1552022 А1 кл. G 01 M1/16, 1990 Способ определения величины дисбаланса роторов машин / А.Н. Авдеев-Федосеева, В.Ф. Герман, В.Н. Потапов (СССР) – 4385448/25-28, Заявл. 29.02.88.; Опубл. 23.03.90., Бюл. №11.
4. Рунов Б.Т. Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов. – М.: Энергоиздат, 1982.-352 с.

М.В. Кіяновський, Е.В. Бондар. Вибір методу діагностики експлуатаційних дефектів стаціонарної гірничої машини. Виконано критичний аналіз існуючих методик. Представлено опис нового методу. У запропонованому способі впроваджено удосконалення методики вимірювань. Реєструється факт перевищення швидкості зростання амплітуд поперечних коливань опори ротора. Це дозволяє оперативно фіксувати факт появи дефекту і виконувати адекватну профілактику.

стаціонарна машина, ротор, діагностика, опора, вісь, прецесія ротора

Kijanovskij N.V., Bondar E.V. Choosing the method of a diagnostics of operational defects of the stationary mountain equipment. The critical analysis of existing ways is executed. The description of a new way is submitted. In an offered way improvement of a measurement technique is introduced. The fact of excess of growth rate of amplitudes of cross-section fluctuations of support of a rotor is registered. It allows to fix operatively the fact of occurrence of defects and to execute adequate preventive maintenance.

stationary equipment, rotor, diagnostics, support, axle, precessiy a rotor

Стаття надійшла до редколегії 07.09.2010

Рецензент: докт. техн. наук, проф. Ю.С. Рудь

© Н.В. Кияновский, Е.В. Бондарь, 2010