

УДК 622.002.5

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ РАСЦЕНТРОВКИ НА РЕСУРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЦИОНАРНЫХ ГОРНЫХ МАШИН

Проведено исследование влияния динамической расцентровки на ресурсные характеристики горного оборудования на базе статистического анализа отказов основных узлов стационарных горных машин. Представлена методика определения дополнительной радиальной нагрузки. Выдвинуто предложение по повышению надежности за счет внедрения эффективного технического обслуживания на базе виброакустических методов диагностики.

радиальная нагрузка, расцентровка, отказ, ресурс, амплитуда колебаний, ротор, ось, прогиб, диагностика

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Среди оборудования, от которого зависит надежность, безопасность и эффективность работы горного предприятия, одно из центральных мест занимают стационарные горные машины. Они характеризуются сложностью конструкций и большой энергоемкостью (на их долю приходится до 70% всей потребленной на горном предприятии энергии) и представляют собой комплексы энергомеханического оборудования, предназначенного для подъема полезных ископаемых и пустых пород на поверхность, подъема и спуска людей, материалов, оборудования (подъемные установки); осушения месторождений полезных ископаемых и откачки воды из горных выработок на поверхность (водоотливные установки); искусственного проветривания горных выработок и создание нормальных атмосферных условий на горном предприятии (вентиляционные установки); получение пневматической энергии сжатого воздуха, которая используется при работе горных комбайнов, отбойных и бурильных молотков, лебедок, вентиляторов местного проветривания, участковых насосов и прочее (компрессорные установки) [1].

Анализ исследований и публикаций. Установлено, что 90% отказов механического оборудования возникает по причине скрытых внутренних дефектов (например, появившиеся во время эксплуатации вследствие старения, под влиянием вибрации, температуры и др.) и всего 10% отказов – вследствие неправильной эксплуатации [2].

Постановка задачі. Во время эксплуатации машины, вследствие наличия, появления и развития различного рода дефектов механизма (статическая расцентровка, упругий изгиб вала, износ конструктивных элементов опор, упругие деформации корпуса, неравномерная жесткость опор, повышение податливости опор) наблюдается возникновение неконтролируемых дополнительных динамических нагрузок на опорах рабочего органа, что приводит к появлению неконтролируемого дефекта – динамической расцентровки валов агрегата.

Дополнительные уровни динамических нагрузок, не предусмотренные конструкторскими расчетами, вынуждают детали агрегата работать в режиме перегрузки, что влечёт к снижению ресурса, а иногда и снижению безопасности эксплуатации.

Для исследования величины динамической расцентровки валов агрегата в эксплуатации и, как следствие, величины дополнительных нагрузок, требуется, установит зависимость между реакциями параметров упруго-инерционных и демпфирующих характеристик опор роторной системы на действие конструкторско-технологических и эксплуатационных дефектов.

Актуальной также является задача нахождения зависимости между значением перемещения валов относительно друг друга (в режиме динамической расцентровки) и величиной дополнительной радиальной нагрузки на опоры валов.

Изложение материала и результаты. Для получения достоверных данных о причинах потери работоспособности и оценки состояния стационарных горных машин Кривбасса проведен сбор и исследование статистических данных по предприятиям:

– ОАО Криворожского железорудного комбината (ОАО КЖРК). Компрессорные установки – 4 шт. К – 500-61, 2 шт. К-250. Главные и вспомогательные водоотливы – 23шт. ЦНС-300, 6 шт. ЦНС-60. Вентиляторные установки – 2 шт. ВЦД-31,5 М2, 2 шт. ВЦД-31,5.

– ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог» шахта «Артем-1». Компрессорные установки – 6 шт. К – 500-61. Главные и вспомогательные водоотливы – 5 шт. НС-60, 28 шт. 8МС-7. Вентиляторные установки – 2 шт. ВРЦД-4,5.

В результате исследования основных узлов стационарных машин установлены характерные причины неработоспособности (неисправности) и определен коэффициент их отказов K , %.

По компрессорным установкам:

- неправильное центрирование линии валов ротора, редуктора и электродвигателя – $K = 17,14$;
- дефекты подшипников скольжения – $K = 14,29$;
- перекос подшипников по отношению к линии вала – $K = 3,57$;
- трение подвижных частей о неподвижные – $K = 14,29$;
- ослабление крепления опор к раме – $K = 10,71$;

По главным и вспомогательным водоотливам:

- биение вала под сальниковой набивкой – $K = 11,88$;
- плохое центрирование электродвигателя и насоса – $K = 4,95$;
- повреждение подшипников – $K = 11,88$;
- расцентровка электродвигателя и насоса – $K = 20,79$;
- ослабления креплений стяжных шпилек – $K = 4,95$;

По вентиляционным установкам:

- проворачивание подшипников на валу – $K = 11,76$;
- значительный износ тел и дорожек качения выше нормы - $K=23,53$;
- ослабление крепежных болтов подшипников – $K = 5,88$;
- ослабление крепления пазовой изоляции – $K = 5,88$.

В результате статистического анализа по величине коэффициента отказов установлено, что под действием эксплуатационных дефектов возникает дополнительная радиальная нагрузка на опоры валов, которая является причиной значительной части неисправностей. Под действием данной нагрузки происходит перемещения валов относительно друг друга, осевое смещение, которое вызывает динамическую расцентровку агрегата. Уровень динамических нагрузок зависит от изменения параметров упруго-инерционных и демпфирующих характеристик опор роторной системы.

Для контроля явления динамической нагрузки проведена техническая диагностика турбокомпрессоров К-250 и К-500 на РКСЦВ-1 и РКСЦВ-2 ОАО КЖРК и соответственно экспериментальные исследования с целью изучения закономерностей постоянства положения рабочих органов в зависимости от изменения упруго - инерционных характеристик базовых конструкций под действием эксплуатационных факторов.

Влияние амплитуды колебаний опорных точек валов машин агрегата на перемещение оси вала в пространстве удобно представить в графическом виде. Графическое изображение амплитуды колебаний опорных точек валов машин агрегата Компрессор К-500, №4, РКСЦВ-1 изображен на рис.1.

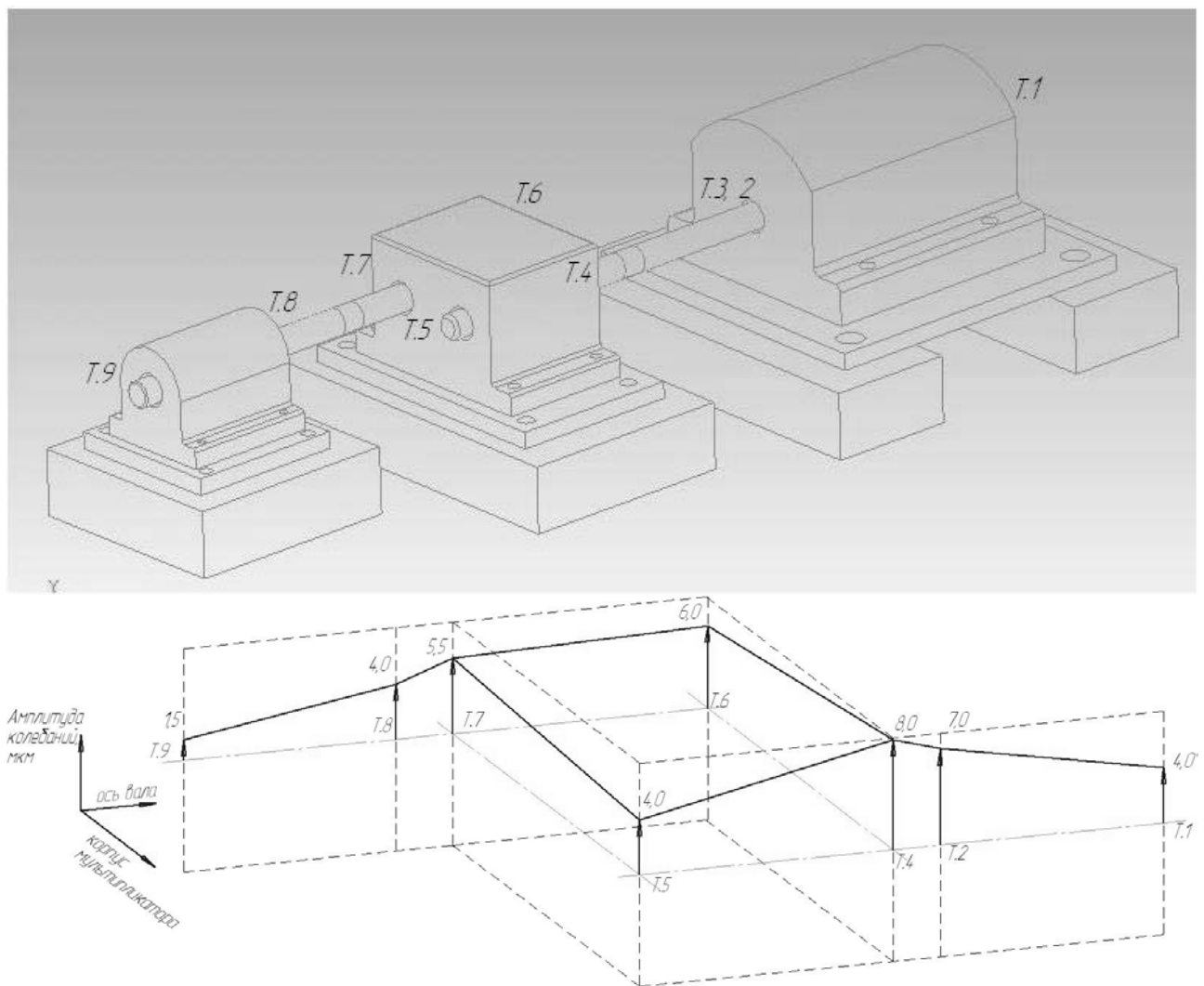


Рисунок 1. Графическое изображение амплитуды колебаний опорных точек валов компрессорной установки в системе: привод, мультипликатор, компрессор

Таким образом, установлено факт существенного влияния динамической расцентровки валов стационарной горной машины на её эксплуатационные свойства, что требует теоретического и экспериментального исследования влияния данного процесса на ресурсные характеристики машины.

Центрирование валов обычно выполняется при соединении двух валов муфтой. Причем в случае, когда центрированием не было достигнуто достаточного для данного типа муфты значения, концы валов изгибаются в направлении друг к другу. Такой изгиб изменяет схему нагрузки вала, через что он начинает работать в режиме, который не предусмотрен конструктивными расчетами. И чаще всего в таком режиме нагрузки на основных узлах значительно превышают допустимые, что ведет к уменьшению ресурса оборудования.

Таким образом, соединительная муфта создает новые усилия на валах – (рис. 2). Эти усилия в первую очередь передаются на опоры

валов – подшипники. При этом усилия могут быть как радиальными, так и осевыми, что зависит от типа смещения рис. 1.

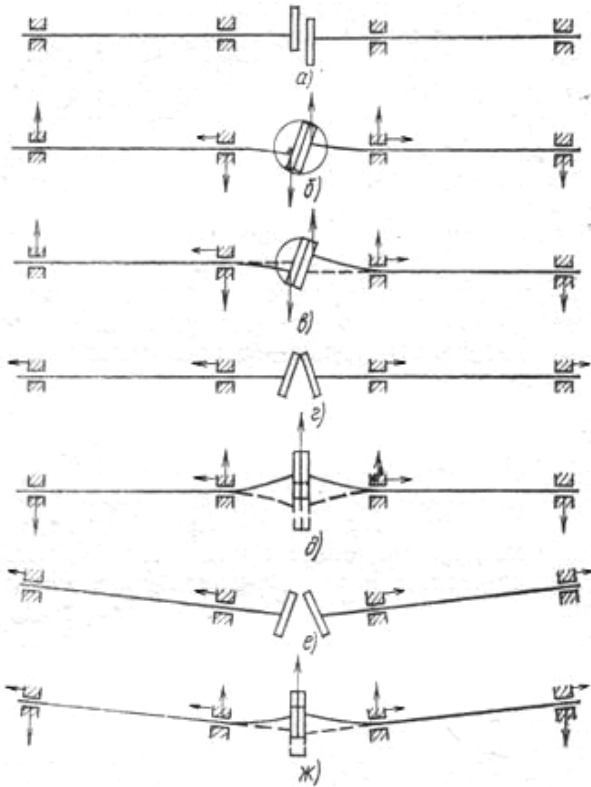


Рисунок 2. Типы расцентровки валов

Проанализируем влияние схемы рис. 1, а расцентровки валов. Рассмотрим методику определения дополнительной радиальной нагрузки вала при появлении радиальной силы F от расцентровки. Схема такой нагрузки показана на рисунке 3. Найдем зависимость реакций опор от осевого смещения валов. Для этого определим, как зависит радиальная сила, действующая на конец вала, от смещения.

Дифференциальное уравнение прогиба свободного конца вала имеет вид [3]:

$$EIy'' = M_z = Fx; \tag{1}$$

где E – модуль упругости $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$;

I – момент инерции при изгибе, см^4 , $I = \frac{\pi d^4}{64}$

M_z – изгибающий момент, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

F – радиальная сила вот расцентровки, Н ;

x – длина участка балки, $0 \leq x \leq a + b$, см ;

Уравнение стрелы прогиба вала равно:

$$EIy' = F \frac{x^2}{2} + C;$$

$$EIy = F \frac{x^3}{6} + Cx + D; \tag{2}$$

Находим значения коэффициентов C и D

$$y' = 0, \quad x = b,$$

$$0 = F \frac{b^2}{2} + C;$$

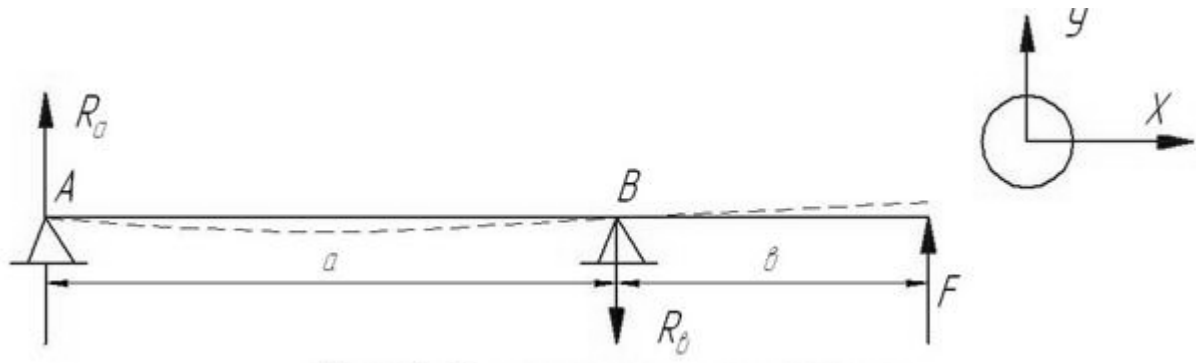


Рисунок 3. Схема нагружения вала

$$C = -F \frac{b^2}{2};$$

$$y = 0, \quad x = b,$$

$$0 = F \frac{b^3}{6} - F \frac{b^3}{2} + D;$$

$$D = F \frac{b^3}{2} - F \frac{b^3}{6} = F \frac{b^3}{2} \left(1 - \frac{1}{3}\right) = F \frac{b^3}{2} \cdot \frac{2}{3} = F \frac{b^3}{3};$$

После подстановки коэффициентов C и D в уравнение (2) получим:

$$y = \frac{F}{EI} \left(\frac{x^3}{6} - b^2 \left(\frac{x}{2} - \frac{b}{3} \right) \right). \quad (3)$$

Данное уравнение описывает зависимость прогиба консольно-закрепленной части вала от радиально действующей силы. Определяем перемещение вала в точке $x = 0$:

$$y = \frac{F}{EI} \left(\frac{0}{6} - b^2 \left(\frac{0}{2} - \frac{b}{3} \right) \right);$$

$$y = \frac{Fb^3}{3EI}. \quad (4)$$

Находим зависимость силы от перемещения:

$$F = \frac{3EIy}{b^3}. \quad (5)$$

Полученная функция является линейной и отношение $3EI/b^3 = A$ – постоянное для каждого вала. Следовательно, уравнение (5) можно записать так:

$$F = Ay. \quad (6)$$

Практическое применение вывода $b = f(F)$ рассмотрим на примере роторных механизмов с соответствующими параметрами: Сталь45 ($E = 2 \cdot 10^6$ кг/см²); сечение $-\text{Ø}20$ мм, длина консольной части вала $b = 10$ см. Для круглого сечения:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 20^4}{64} = 15700 = 1,57 \text{ см}^4;$$

Тогда функция будет иметь вид:

$$F = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1,57 \cdot y}{10^3} = 9,42 \cdot 10^3 y. \quad (7)$$

Проведем такие же расчеты для сечений $\text{Ø}25$ мм и $\text{Ø}30$ мм

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 25^4}{64} = 38330 = 3,83 \text{ см}^4;$$

$$F = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 3,83 \cdot y}{10^3} = 22,98 \cdot 10^3 y \quad (8)$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 30^4}{64} = 79481 = 7,94 \text{ см}^4;$$

$$F = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 7,94 \cdot y}{10^3} = 47,64 \cdot 10^3 y \quad (9)$$

Согласно расчетам, величина дополнительной нагрузки на подшипники прямо пропорциональная величине расцентровки двух соосных валов, образующих агрегат. При этом увеличение диаметра лишь в 1,5 раза приводит к увеличению силы при тех же значениях расцентровки больше, чем в 5 раз. Можно сделать вывод, что для больших валов даже незначительное смещение осей соединения приводит к появлению значительных дополнительных нагрузок на опоре, что неизбежно влечет за собой сокращение ресурса работы оборудования и снижение его надежности. Величина сокращения ресурса работы оборудования может быть легко определена даже при использовании общеизвестных методик расчета долговечности подшипников.

Выводы и направления дальнейших исследований. Следовательно, повышение надежности, долговечности стационарных горных машин возможно за счет снижения уровня динамических нагрузок, в результате устранения расцентровки валов под действием уменьше-

ния численных величин факторов вызывающих её, а также направленного изменения функциональных зависимостей нагрузок от факторов, за счет оптимального выбора упруго-инерционных и демпфирующих характеристик системы.

Таким образом, в результате работы проведено исследование влияния эксплуатационных факторов на работоспособность горного оборудования на базе статистического анализа отказов основных узлов. Выдвинуто предложение повышения эксплуатационной надежности за счет внедрения эффективного технического обслуживания на базе виброакустических методов диагностики.

Список источников:

1. Дроздовая Л.Г. Стационарные машины: учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 157 с.
2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин – М.: Высшая школа, 1988. – 240 с.
3. Кияновский Н.В., Бондарь Е.В., Рубаненко В.В. Влияние монтажных дефектов расцентровки на характеристики надёжности промышленных агрегатов // Сборник материалов Международного форума-конкурса «Проблемы недропользования».- Санкт-Петербург, 23 апреля 2010 г. – С. 85-90.

М.В. Кіяновський, Е.В. Бондар. Експериментальне дослідження впливу динамічної расцентровки на ресурсні характеристики стаціонарних гірничих машин. Проведено дослідження впливу динамічної расцентровки на ресурсні характеристики гірничого устаткування на базі статистичного аналізу відмов основних вузлів стаціонарних гірничих машин. Представлено методіку визначення додаткового радіального навантаження. Висунуто пропозицію підвищення надійності за рахунок впровадження ефективного технічного обслуговування на базі виброакустических методів діагностики.

радіальне навантаження, расцентровка, відмова, ресурс, амплітуда коливань, ротор, вісь, прогин, діагностика

N.V. Kijanovskij, E.V. Bondar. Experimental research of influence of dynamic misalignment on resource characteristics of the stationary mountain equipment. Research of influence of dynamic misalignment on resource characteristics of the stationary mountain equipment on the basis of the statistical analysis of refusals of the basic knots of stationary mountain cars is carried out. Principles of determination of the additional radial load. The offer of increase of reliability is brought for the bill introduction effective technical service on base vibroakusticheskikh diagnostics methods is brought.

radial load, misalignment, refusal, resource, amplitude of cycling, rotor, axle, deflection, diagnostics

Стаття надійшла до редколегії 07.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.С. Рудь

© Н.В. Кияновский, Е.В. Бондарь, 2010