

В роботі пропонується система контролю зубчастих передач, основою якої є вимірювальні перетворювачі підвищеної інформативності, їх розташування й конструкція, а також геометрична модель їх магнітної системи. Вказані відхилення які фіксуються вимірювальним перетворювачем

Ключові слова: геометрична модель, вимірювальний перетворювач, інформативність

В работе предлагается система контроля зубчатых передач, основой которой является измерительные преобразователи повышенной информативности, их расположение и конструкция, а также геометрическая модель их магнитной системы. Указаны отклонения, фиксируемые измерительным преобразователем

Ключевые слова: геометрическая модель, измерительный преобразователь, информативность

The checking of gearings system is offered in work, basis of which is measurings transformers of the promoted informing, their location and construction, and also geometrical model of their magnetic system. Rejections, fixed a measuring transformer, are indicated

Key words: geometrical model, measurings transformers, informing

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УСТАЛОСТНОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНО-РУДНИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Д. В. Прядченко

Аспирант*

Контактный тел.: 099-011-82-08

В. В. Яковенко

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

Контактный тел.: 0642-55-32-14

*Кафедра «Электромеханика»

Восточноукраинский Национальный университет имени Владимира Даля
квартал Молодёжный, 20 а, г. Луганск, Украина, 91000

1. Введение

Одним из условий улучшения технических показателей машин и их узлов, является получение информации об их техническом состоянии в период эксплуатации. Выполнение всех проверок, предусмотренных нормативно-технической документацией, ещё не даёт гарантии работоспособности машины в процессе эксплуатации. В большей мере это относится к механизмам, работающим в тяжёлых условиях горных выработок. Рабочая среда шахт и карьеров характеризуется высокой запылённостью, повышенной температурой и большим количеством присутствующей влаги. В этих условиях детали механизмов интенсивно изнашиваются, что ставит под угрозу выхода из строя всего механизма. Непредвиденная поломка механизма, а следовательно, и всего агрегата приносит значительные экономические убытки, а в отдельных – травматизм и

гибель персонала, обслуживающего не только агрегат, но и горной выработки в целом.

Для предотвращения неожиданных поломок механизмов и агрегатов (а к ним относятся редукторы, коробки передач транспортных машин, узлы компрессоров и т.п.) необходимо производить контроль механизмов непосредственно во время эксплуатации, который прогнозировать возможные поломки.

Традиционные методы диагностики в условиях эксплуатации машин и агрегатов (непосредственно в шахтах и карьерах) малоприменимы, так как они требуют определённых условий их реализации: наличия испытательных стендов, закрытых помещений, измерительных установок и оборудования, имитирующего нагрузку, квалифицированного персонала и т.п. Разработка систем для контроля основных узлов механизмов непосредственно в процессе эксплуатации машин является актуальной технической задачей, решение

которой повысит эффективность эксплуатации машин в условиях горных выработок.

2. Конструкция измерительного преобразователя повышенной информативности

Основой предлагаемой системы контроля зубчатых передач являются первичные измерительные преобразователи с повышенной информативностью, которые монтируются непосредственно у поверхности зубчатых колёс. Измерительный преобразователь, благодаря своим малым габаритам, монтируется в контролируемом механизме без внесения изменений в его конструкцию с минимальным количеством крепёжных деталей. Особенностью предлагаемого измерительного преобразователя является то, что его физическим принципом работы является регистрация информационных параметров магнитного поля, а высокая информативность достигается за счёт низкого порога чувствительных ферромуляционных элементов.

Расположение измерительных преобразователей при диагностике зубчатой пары показано на рис. 1. У поверхности зубчатого колеса (шестерни) располагается постоянный магнит, который намагничивает зубья. Поскольку материалы, из которых изготавливаются зубчатые колёса, представляют собой легированные термообработанные стали, их коэрцитивная сила достигает $(5-6) \cdot 10^3$ А/М, а остаточная намагниченность - $(2-4) \cdot 10^3$ А/М. Такие магнитные свойства материала при его намагничивании создают у поверхности зубчатых колёс поле напряжённостью $(0.5-1) \cdot 10^3$ А/М. Информационные параметры этого поля фиксируются измерительным преобразователем, конструкция которого показана на рис. 2.

К основанию 1 крепится П-образный магнитопровод из аморфного сплава железа 2, имеющий круглые отверстия. В отверстиях намагничивающей катушки модулятора 3, которые подключаются к источнику синусоидального тока. На пластинах магнитопровода располагаются выходные катушки 4, в которых индуцируется напряжение, пропорциональное величине магнитного потока в магнитопроводе 2. Магнитопровод с катушками размещается в корпусе 5, выполненном из пермаллоя, являющийся экраном.

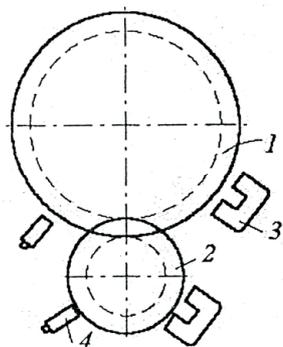


Рис. 1. Расположение измерительных преобразователей при диагностике зубчатой пары: 1 – зубчатое колесо; 2 – шестерня; 3 – постоянный магнит; 4 – измерительный преобразователь

Измерительный преобразователь может фиксировать следующие отклонения зубьев от нормы:

- излом зубьев и трещины;
- усталостные выкрашивания;
- заедание;
- износ боковых поверхностей;
- пластическое течение при перегрузках.

Кроме этого, с помощью ферромуляционного измерительного преобразователя можно измерять напряжения в металле, кинематическую погрешность, угловую скорость вращения.

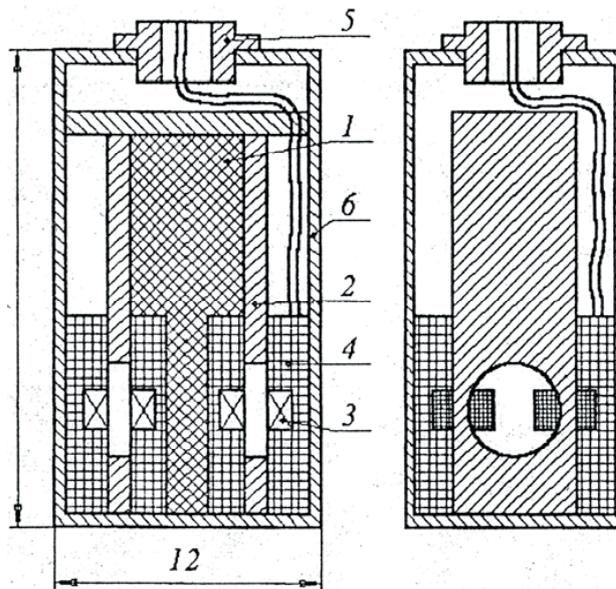


Рис. 2. Конструкция измерительного преобразователя: 1 – основание; 2 – магнитопровод ферромуляционного элемента; 3 – обмотка модулятора; 4 – выходная обмотка и обмотка компенсации; 5 – разъём; 6 – корпус преобразователя

3. Геометрическая модель магнитной системы измерительного преобразователя повышенной чувствительности

Информативным параметром выходного сигнала измерительного преобразователя является его спектральный состав. В начале эксплуатации зубчатой передачи сигнал, соответствующий каждому зубцу, проходящему у измерительного преобразователя, запоминается в цифровой форме и определяется его спектр. По мере эксплуатации зубчатой пары происходит повторное определение спектрального состава сигналов измерительных преобразователей и его сравнение с предыдущим. Измерение спектрального состава сигналов свидетельствует об отклонении состояния зубьев от нормы.

Магнитный поток в одном сердечнике преобразователя, вызванного намагниченным ферромагнитным телом, можно рассчитать, используя теорему о взаимности [1]:

$$\Phi = \frac{\mu_0}{iw} \int_V \vec{H} \cdot \vec{M} dV ,$$

где \vec{H} - вектор напряжённости магнитного поля, создаваемого сердечником преобразователя с расположенной на нём обмотки с числом витков W и токов в ней I ;

M - вектор намагниченности в области V .

Если предположить, что ферромагнитное тело много меньше размеров преобразователя и намагничено однородно в направлении, совпадающим с осью магнитной системы преобразователя, то можно в первом приближении записать:

$$\Phi \approx \frac{\mu_0}{iw} H \cdot M \Delta V. \quad (1)$$

При расчёте y - составляющей напряжённости магнитного поля можно считать, что катушка выходной обмотки, расположенная на сердечнике преобразователя, заменяется бесконечно тонким слоем тока, линейная плотность которого равна:

$$b_k = \frac{iW}{2\pi k}.$$

Ферромагнитный сердечник преобразователя также заменяется слоем тока, величину которого можно считать равной:

$$b = \frac{iW}{2\pi} \mu,$$

где μ - магнитная проницаемость сердечника преобразователя.

Тогда y -составляющая напряжённости магнитного поля для одного сердечника преобразователя запишется как:

$$H = H_y = \frac{b_k}{4\pi} \left[\arctg \frac{(x-x_j)(y-y_j)}{(z \pm d - C_k) R_{ck}^-} \Big|_{-a_k}^{a_k} \Big|_{-b_k}^{b_k} - \arctg \frac{(x-x_j)(y-y_j)}{(z \pm d + C_k) R_{ck}^+} \Big|_{-a_k}^{a_k} \Big|_{-b_k}^{b_k} + \right. \\ \left. + \arctg \frac{(z \pm d - z_j)(y-y_j)}{(x-a_k) R_{ak}^-} \Big|_{-b_k}^{b_k} \Big|_{-c_k}^{c_k} - \arctg \frac{(z \pm d - z_j)(y-y_j)}{(x+a_k) R_{ak}^+} \Big|_{-b_k}^{b_k} \Big|_{-c_k}^{c_k} \right] + \\ + \frac{b}{4\pi} \left[\arctg \frac{(x-x_j)(y-y_j)}{(z \pm d - c) R_c^-} \Big|_{-a}^a \Big|_{-b}^b - \arctg \frac{(x-x_j)(y-y_j)}{(z \pm d + c) R_c^+} \Big|_{-a}^a \Big|_{-b}^b + \right. \\ \left. + \arctg \frac{(z \pm d - z_j)(y-y_j)}{(x-a) R_a^-} \Big|_{-c}^c \Big|_{-b}^b - \arctg \frac{(z \pm d - z_j)(y-y_j)}{(x+a) R_a^+} \Big|_{-c}^c \Big|_{-b}^b \right] \quad (2)$$

здесь обозначено:

$$R_{ck}^\pm = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 + (z \pm d \pm c_k)^2};$$

$$R_{ak}^\pm = \sqrt{(x \pm a_k)^2 + (y-y_j)^2 + (z \pm d - z_j)^2};$$

$$R_c^\pm = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 + (z \pm d + c)^2};$$

$$R_a^\pm = \sqrt{(x \pm a)^2 + (y-y_j)^2 + (z \pm d - z_j)^2}.$$

С учётом того, что $1 \gg b_k$ и $a > c$, максимальное значение напряжённости магнитного поля будет равно:

$$H_{max} = \frac{iWl}{2\pi b\mu} \left[\arctg \frac{a(h-b)}{c\sqrt{a^2 + (h-b)^2 + c^2}} - \arctg \frac{a(h+b)}{c\sqrt{a^2 + (h+b)^2 + c^2}} \right] \quad (3)$$

где h - координата ферромагнитного тела. Обозначим

$$\Psi_m = \frac{1}{iw} H_{max}$$

При токе в обмотке модулятора $i = I_m \sin \omega t$, напряжённость в его магнитопроводе измеряется как

$$H(t) = \frac{I_m W_m}{I_m} \sin \omega t,$$

где W_m - число витков модулятора,

$$I_m = 2\pi \left(R + \frac{a-R}{2} \right).$$

В ненасыщенном состоянии сердечника модулятора проницаемость формы сердечника измерительного преобразователя рассчитывается (с учётом зеркального изображения сердечника) по формуле [2]:

$$M_c = \frac{\pi(b^2 - 0.25b_k^2)}{ab \left(\ln \frac{7.2b}{a+b} - 1 \right)}. \quad (4)$$

Можно считать, что магнитная проницаемость сердечника равна $\mu_c = M_c$.

В момент насыщения области магнитопровода занятой модулятором, относительная магнитная проницаемость сердечников преобразователя может считаться равной

$$\mu_s \approx m_s = \frac{\pi \left[(b-R)^2 + 0.25(b_k - R)^2 \right]}{lab \left[\ln \frac{1.8(b-R)}{a+b} - 1 \right]}. \quad (5)$$

Тогда функцию $\mu(t)$ можно представить как

$$\mu(t) = \begin{cases} \mu_c \text{ при } \pi n - \theta \leq \omega t \leq \pi n + \theta; \\ \mu_s \text{ при остальных значениях } \omega t. \end{cases} \quad (6)$$

здесь H_s - напряжённость насыщения сердечника модулятора;

$$\theta = \arcsin \frac{H_s}{H_m}; \quad H_m = \frac{I_m W_m}{I_m}.$$

Представляя (6) рядом Фурье и ограничивая ряд второй гармоникой имеем

$$\mu(t) = \frac{2}{\pi} (\mu_c - \mu_s) \sin 2\theta \sin 2\omega t. \quad (7)$$

Максимальным значением амплитуды второй гармоники можно считать [3]

$$\mu_{2r} = 0.64(\mu_c - \mu_s) \cdot \tag{8}$$

Амплитуда второй гармоники выходного напряжения с учётом (1), (8) определяется зависимостью:

$$U_{zm} = 1.28\mu_0(\mu_c - \mu_s)\psi_m \cdot M\Delta V\omega \cdot w \cdot$$

При следующих параметрах измерительного преобразователя и ферромагнитного тела $b = 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $a = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $c = 0.05 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $w = 200$; $c = 2\pi \cdot 10^{-4}$; $m = 10^3 \text{ А / М}$; $\psi_m = 0.12$; $\Delta V = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $\mu_c = 250$; $\mu_s = 40$
 амплитуда выходного сигнала равна $U_{zm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ В}$.

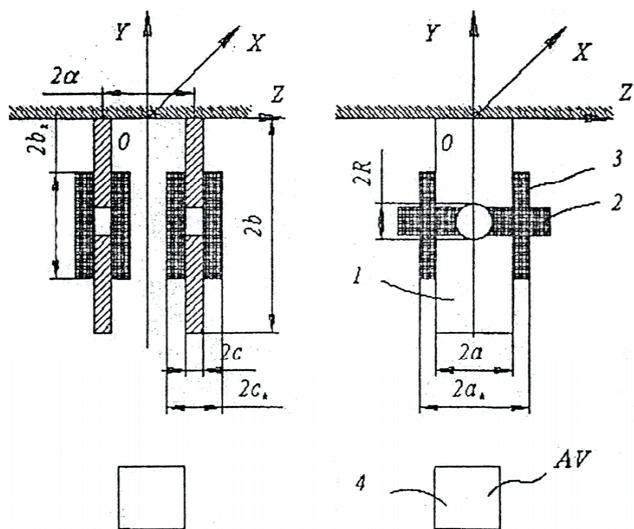


Рис. 3. Геометрическая модель магнитной системы измерительного преобразователя: 1 – сердечник; 2 – обмотка модулятора; 3 – выходная обмотка; 4 – ферромагнитная деталь

4. Заключение

1. Предложена конструкция измерительного преобразователя для контроля зубчатых передач во время эксплуатации горно-рудничного оборудования, который является преобразователем повышенной информативности.
2. Приведены основные отклонения зубьев зубчатых передач от нормы, фиксируемые измерительным преобразователем.
3. Разработана геометрическая модель магнитной системы преобразователя.

Литература

1. Поливанов К. М. Теоретические основы электротехники, ч. 3, М. – 1982 – 340с.
2. Розенблат М. А. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. – М.: Наука, 1966 – 542с.
3. Беркман Р. Я., Мартынюк-Лотоцкий Р. Е. Об общности и существенных различий в анализе условий возбуждения магнитных модуляторов и феррозондов. – В кн.: Элементы систем отбора и передачи информации. К. 1985 – 103с.