С периодичностью не менее двух раз в месяц требуется производить проворачивание редуктора с использованием штатного вал о поворотного устройства и с обязательным прокачиванием масла в редукторе. В случае, если использовать валоповоротное устройство не представляется возможным, проворачивание осуществляется талевкой за фланец приводного вала генератора переменного (или постоянного) тока редуктора. При проворачивании редуктора число оборотов ведущего вала должно быть не менее двух.

Вывод. Одним из эффективных путей решения проблемы повышения надежности редукторов эксплуатирующихся рыбопромысловых судов является измерение вибраций на опорных валах дизель-редукторных агрегатов в третьоктавных полосах частотой (23%) в частотном диапазоне проявления дефектов зацепления (100 Гц…3 кГц), проявления развитых (50…500 Гц) и зарождающихся (4…5 кГц) дефектов подшипников качения в редукторах. Дополнительный анализ по продуктам износа в масле (металлам: железу, меди, хрому) существенно повышает надежность диагностики.

Приведенная выше технология безразборной технической диагностики обеспечивает практическую реализацию решения проблемы повышения надежности редукторов эксплуатирующихся рыбопромысловых судов путем своевременной и ориентированной выдачи рекомендаций по устранению выявленных неисправностей и принятию мер по их оперативной реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генкин М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. - М.: Машиностроение, 1987. - 288с.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Т.2. / Под ред. Шелкова Г.В, - С.-Петербург: Российский Морской Регистр Судоходства, 1999.-505с.
3. Прыгунов А.И. Анализ продуктов износа в масле главных редукторов судов. // Восьмая научно-техническая конференция МГТУ: Сб. тез. докл.: Мурманск, 1997. с.5-7.

УДК 622.647.001.5

Омаров Казбек Алтынсарович – д.т.н., профессор
(Алматы, КазНТУ им. К.И.Сатпаева)
Бейсенова Айнаш Сергазовна – д.т.н., профессор (КУ «Алатау»)
Сыздыкбаева Жанна Сарыбаевна – соискатель (КУ «Алатау»)

АНАЛИЗ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ КАНАТОВ МНОГОКОНТУРНОГО КАНАТНО-ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ПО ПОДДЕРЖИВАЮЩИМ РОЛИКООПОРАМ

Анализ процесса движения тяговых канатов по поддерживающим роликоопорам, скорости распространения упругой волны вдоль канатов с учетом силы трения является актуальной задачей.

Уравнение движения тяговых канатов по поддерживающим роликоопорам имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(a^2 \frac{\partial y}{\partial z}\right) - \ddot{y} = \frac{q}{\rho_0}(\beta - \beta_0) f_{сц} \cdot \cos\alpha \ldots \qquad (1)$$

Перемещение У(Z,t) в начальный момент равно нулю для всех точек нити. Для установления характера движения нити (каната) при наличии трения необходимо принять, что скорость распространения упругой волны постоянна вдоль нити (канатов) и равно некоторой средней ее величине. Уравнение (1) имеет постоянные коэффициенты.

$$a^2(\partial^2 y/\partial Z^2) - \ddot{y} = F(Z,\dot{y}), \qquad (2)$$

где

$$F=\begin{cases}\left(\frac{q}{P_0}\right)(sign\dot{y} - \beta_0)\cdot f_{сц}\cdot\cos\alpha, & \dot{y}\neq 0\\ 0, \dot{y}=0\end{cases}$$

Следует отметить, что здесь можно решать без разрыва β, хотя учитывается разрыв.

Рассмотрим перемещение точек нити вблизи фронта волны. Пусть в момент времени t_1 фронт волны находится в точке Z_1, а в момент времени $t_1+\Delta t$ в точке $Z_1+\Delta Z$. Разложим функцию У(Z,t) в окрестности точки (Z_1, t_1) в ряд Тейлора.

$У(Z_1, t_1+\Delta t) = \ddot{y}(Z_1,t_1)\Delta t^2/2 + \dddot{y}(Z_1,t_1)\Delta t^3/3! + \cdots$ для малых

Δt $\quad y(Z_1,t_1+\Delta t) \simeq \ddot{y}(Z_1,t_1)\Delta t^2/2$

Интегрируя уравнение (2) в окрестности точки Z,

$$a^2 y(Z_1,t_1+\Delta t) \simeq \ddot{y}(Z_1,t_1)\Delta t S^2/2 + F\Delta S^2/2$$

и, использовав разложение функции в ряд Тейлора, получим действительную скорость распространения волны при наличии трения:

$$a_F = \lim_{\Delta t\to 0}(\Delta Z/\Delta t) = a\sqrt{[1/(1+F/\ddot{y})]} \qquad (3)$$

Таким образом, если силы трения перед началом движения нити не достигли своего предельного значения, то фронт волны движется со скоростью a_F меньшей, чем скорость распространения упругой волны по нити, у которой в начальный момент трение достигает своего предельного значения, так как из определения функции $F(Z, \dot{y})$ получается, что $(F/\ddot{y})>0$. Чтобы скорость распространения упругой волны по нити была постоянной, необходимо, чтобы или F=0 или ускорение в точках фронта волны было постоянным.

Характеристическое уравнение для выражения (2)

$$dz=\pm a dt$$

имеет решение $\xi=at+Z$, $\nu=at-Z$. Переходим к новым переменным ξ,ν:

$$\left.\begin{array}{c}-4a^2 y_{\xi,\nu} = F \text{ при } \xi\le\varphi(\nu)\\ y_{\xi,\nu}=0 \text{ при } \xi\ge\varphi(\nu)\end{array}\right\} \qquad (4)$$

$\xi=\varphi(\nu)$ - перемещение фронта волны. Так как скорость распространения волны зависит от ускорения, то перемещение фронта волны также зависит от ускорения в точках фронта волны деформации нити.

Для определенности следует принять, что в процессе движения знак скорости не меняется ($\dot{y}>0$) и β_0 является постоянным вдоль нити:

$$F=\begin{cases}-\left(\frac{q}{P_0}\right)(1+\beta_0)\cdot f_{сц}\cos\alpha \le 0 \text{ при } \dot{y}\neq 0\\ 0 \text{ при } \dot{y}=0\end{cases} \qquad (5)$$

При этих условиях уравнение (4) легко интегрируется вдоль характеристик:

$$-4a^2 y(\xi, \nu) = \varphi_1(\xi) + \varphi_2(\nu) + F \cdot \xi \cdot \nu \qquad (6)$$

Полученное решение должно удовлетворять граничным условиям.

$$y(\xi, \nu)/_{Z=0} = -y_0(t) = -(1/4a^2)\{\varphi(at) + \varphi_2(at) + F(a \cdot t)^2] \qquad (7)$$

и быть непрерывным по скорости и натяжению, в точках фронта распространяющейся волны

$$\varphi_1'[\varphi(\nu) + \varphi_2'(\nu) + 2a \cdot t \cdot F = 0$$
$$\varphi_1'[\varphi(\nu) - \varphi_2'(\nu) - 2a \cdot Z_1 = 0,$$

где Z(t) – перемещение фронта волны деформаций в координатах (Z, t).

Складывая и вычитая два последних уравнения получим:

$$\varphi_1'[\varphi(\nu)] - F \cdot \nu, \quad \varphi_2'(\nu) = -F \cdot \varphi(\nu) \qquad (8)$$

При постоянном ускорении в точках фронта волны, учитывая выражение (5), получим

$$Z_1 = a_F \cdot t, \quad \varphi(\nu) = (a + a_F) \cdot \nu/(a - a_F).$$

Дифференцируя выражение (7) и подставляя значение функций

$$\varphi_1'(at) = -(a - a_F)F \cdot a \cdot t/(a + a_F),$$
$$\varphi_2(at) = -(a + a_F)F \cdot a \cdot t/(a - a_F)$$

получим

$$\dot{Z}_0(t) = -(F \cdot t/4) \cdot [(a - a_F)/(a + a_F) + (a + a_F)/(a - a_F) - 2]$$

или, заменяя скорость распространения деформации a_F согласно выражения (5), получим

$$\dot{У}_0(t) = \ddot{У} \cdot t$$

Следовательно, чтобы скорость распространения деформации по нити была постоянной при $F \neq 0$, необходимо и достаточно, чтобы ее конец двигался с постоянным ускорением.

Принимаем, что конец нити двигался до момента $t = t_1$ с постоянным ускорением $-j_1$, а при $t = t_1$ ускорение изменяется скачком на $-j_2$. После изменения закона движения конца нити по ней пойдет упругая волна. Если направление скорости при этом не изменяется, то дополнительное перемещение является решением однородного волнового уравнения

$$a^2 \cdot \nu_{zz} = \ddot{\nu}.$$

Учитывая выражения (6) и (8), получим следующее

$$У(Z, t) = [F(a_1 \cdot t - Z)^2/2(a^2 - a_1^2)] = -j_1(t - Z/a_1)^2 \text{ при } t \leq t_1,$$

где

$$a_1 \cdot t - Z = \begin{cases} a_1 \cdot t - Z \text{ при } Z \leq a_1 \cdot t \\ 0 \text{ при } Z \geq a_1 \cdot t \end{cases}$$

$$a_i = a/\sqrt{1 + (F/j_i)}, \quad i = 1,2,3,\ldots \qquad (9)$$

$У(Z,t) = -(j_1/2)(t - Z/a_1)^2 - (j_2 - j_1)/2[t - (Z/a) - t_1]^2$ при $t_1 \le t \le a \cdot t_1/(a - a_1)$

В момент $t = a \cdot t_1/(a - a_1)$ вторичная волна догонит фронт движущейся волны деформаций и частично отразится от него.

Решение для промежутка времени, пока отраженная волна не достигнет конца нити, предоставляется суммой волн.

$$\begin{cases} У(Z,t) = -\frac{j_1}{2}\left(t - \frac{z}{a}\right)^2 - \frac{j_2 - j_1}{2}\left(t - \frac{z}{a} - t_1\right)^2 - \frac{j_3 - j_2}{2}\left(t - \frac{z_1}{a} - t_1 - \frac{z_1 - z}{a}\right)^2 \\ Z < Z_1 = \frac{a_1 \cdot a \cdot t}{a - a_1}; \quad \frac{at_1}{(a - a_1)} \le t \le \frac{a + a_1}{a - a_1} \cdot t_1 \ldots \\ У(Z,t) = -\frac{j_2}{2}\left(t - \frac{z_1}{a} - t_1 - \frac{z - z_1}{a_2}\right), \quad Z > Z_1 \end{cases} \qquad (10)$$

Ускорение $-j_3$ следует определять из условия непрерывности производных от перемещения в точке $Z = Z_1$:

$$j_3 = \frac{A^2}{2A + F,} \quad A = j_1\frac{a - a_1}{a_1} + 2j_2$$

Следует указать, что процесс движения нити с изменяющейся начальной силой трения протекает значительно сложнее, чем в случае, когда величина силы трения не меняется в период движения. На движущемся участке нити, если знак скорости не меняется, упругие волны деформации распространяются со скоростью a, которая при больших изменениях сопротивления движению и малых ускорениях значительно превышает скорость перемещения фронта волна a_1, определяемого выражением (9). Если конец нити движется с переменным ускорением, то упругие волны, идущие вдоль нити со скоростью a, догоняют фронт движущейся волны деформаций, частично отражаются от него, возвращаются к свободному концу, снова отражаются и т.д. при изменении ускорения в точке фронта движущейся волны, изменяется скорость распространения волны деформаций a_1. При этих условиях решения уравнения (2) методом распространяющихся волн не дает столь эффективного результата, так при движении нити без трения или с постоянным трением. Следовательно, необходимо рассматривать приближенное решение для движения точек нити в окрестностях ее конца. Принимаем, что конец нити движется по закону.

$$y(O,t) - y_1(t)$$

Для некоторого $t \le t_1$, $\ddot{y}_1(t) = \ddot{y}_1(O) = a$, учитывая выражение (10)

$$y(z,t) \simeq -y_1(t - z/V_1), \; t \le t_1,$$

$$y_1(t - z/V_1) = \begin{cases} y_1\left(t - \frac{z}{V_1}\right) при\; t \ge z/V_1 \\ O\; при\; t \ge z/V_1 \end{cases}$$

Движение точек нити в окрестности ее конца для

$$t_1 \le t \le (V + V_1)t_1/(V - V_1)$$

С учетом выражения (10) определяется формулой

$$\mathcal{Y}(z,t) = -a_1\,[t-(z/\mathcal{V}_1)]^2/2 - (a_2-a_1)[t-(z/\mathcal{V})-t_1]^2/2$$

Или при произвольной функции $\mathcal{Y}_1(t)$

$$\mathcal{Y}(z,t) \simeq -a_1\,[t-(z/\mathcal{V}_1)]^2/2 - \mathcal{V}_1\,[t-(z/\mathcal{V})] + a_1[t-z/\mathcal{V}]^2, \qquad (11)$$

где $\mathcal{V}_1\,t = \begin{cases} a_1 \text{при } t < t_1 \\ \ddot{\mathcal{Y}}(t) \text{при } t \geq t_1 \end{cases}$

Натяжение конца нити

S=S$_o$+E$\cdot\mathcal{Y}z(O,t) = S_0 + (E/\mathcal{V})[\mathcal{V}_1(t) + (\mathcal{V}-\mathcal{V}_1)\,a_1\cdot t/\mathcal{V}_1]$,
t$< (\mathcal{V}+\mathcal{V}_1)\cdot t_1/(\mathcal{V}-\mathcal{V}_1)$.

Если для t$<$t$_1$, $\ddot{\mathcal{Y}}_1 \approx a_1 = const, mo$

S$\approx$S$_o$+(E/ $\mathcal{V})[\dot{Y}_1(t) + (\mathcal{V}-\mathcal{V}_1)\,a_1\cdot t/\mathcal{V}_1], t < (\mathcal{V}+\mathcal{V}_1)t_1/(\mathcal{V}-\mathcal{V}_1) \ldots (12)$

Отклонение величины натяжения, заданного выражения (12), от действительного вызвано принятым допущением, что скорость перемещения фронта деформации $\mathcal{V}_1$ определяется начальным ускорением $\ddot{\mathcal{Y}}_1(0) = a_1$, а не действительным ускорением в точке фронта деформаций. Чем больше изменится ускорение за время t_1, тем больше будет ошибка при определении натяжения по выражению (12). При заданной функции $Y_1(t)$ ошибка будет тем меньше, чем меньше t_1, но с уменьшением t уменьшается отрезок времени, при котором действительно рассматриваемое решение (12) максимально допустимое время t_1, можно определить, если задаться максимально допустимой относительной ошибкой в определении натяжения конца нити. С учетом выражений (9) и (10)

$$\frac{\Delta S_1(o,t)}{S_1(o,t)} \simeq \frac{\ddot{\mathcal{Y}}(o,t)-\ddot{\mathcal{Y}}(o,o)}{\ddot{\mathcal{Y}}(o,o)}\,\frac{t-t_1}{t}\sqrt{\frac{f}{\ddot{\mathcal{Y}}(o,o)}+1},$$

где $\Delta S_1(o,t)$- ошибка в определении натяжения конца нити при замене действительного ускорения $\ddot{\mathcal{Y}}(o,t)$ на постоянное – $\ddot{\mathcal{Y}}(o,o)$.

Выводы:

Анализ процесса движения тяговых канатов многоконтурного канатно-ленточного конвейера по поддерживающим роликам позволил получить зависимость для определения скорости распространения волны деформации при наличии трения. Установлено, что скорость распространения волны зависит от ускорения, а перемещение фронта волны деформации вдоль тяговых канатов многоконтурного канатно-ленточного конвейера от ускорения в точках фронта волны деформации нити (канатов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дебривный И. Е. К исследованию затухания колебаний в стальных тросах // Вопросы рассеяния энергии при колебаниях упругих систем.- Киев , 1982, с 14-20

2. Штокман И. Г. Динамические усилия в гибких тяговых органах при неустановившемся движении // Вопросы рудничного транспорта – М.: Углетехиздат , 1987-вып.2-с. 14-22.