$$Q_\varphi = M_c \frac{1}{i} \quad . \tag{12}$$

Для случая, когда ведущим является центральное колесо

$$Q_\theta = M_c + M_9 \frac{i-1}{i} \; ; \tag{13}$$

$$Q_\theta = M_9 \frac{1}{i} \quad . \tag{14}$$

Уравнения движения механизма (9) и (10) могут быть решены численным методом на ЭЦВМ.

Резюме. В работе получены уравнения динамики для инерционного трансформатора с импульсатором Хоббса.

УДК 531.3+629.11.012.5

М.А. Левин, канд. техн. наук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ТЕОРИИ КАЧЕНИЯ

В работе в уточненной постановке рассматривается определение значений ряда кинематических коэффициентов, обозначенных в [1] через k_{17}, k_{18}, k_{19}, k_{20}, а также радиуса качения r в свободном режиме движения и других величин, связанных с ними. Основное отличие здесь заключается в том, что деформации периферии колеса за пределами области контакта не предполагаются малыми отклонениями, при этом удерживаются члены порядка α до третьей степени включительно. Это обстоятельство имеет существенное значение для деформируемых колес, у которых отношение соответствующего коэффициента псевдоскольжения к соответствующей жесткости близко к половине длины области контакта.

Таким образом, с удержанием членов порядка не выше α^3 уравнения для деформаций за пределами области контакта могут быть приведены к следующему виду

$$c_1\lambda_1' + \frac{1}{R}\,\frac{ds}{d\mu} - \lambda_3'\gamma_1 c_3 - \frac{N_2}{R}\left(\gamma_1 - \frac{\gamma_1^3}{6}\right) = 0\,; \tag{1}$$

$$c_3\lambda_3' - \frac{N_2}{R}\,\frac{d\gamma_1}{d\mu} - \frac{s}{R} + \lambda_1'\gamma_1 c_1 - c_3\lambda_3'\frac{\gamma_1^2}{2} - \frac{N_2}{R}\,\frac{\gamma_1^2}{2} -$$
$$- \frac{s\,d\gamma_1}{R\,d\mu} = 0\;; \tag{2}$$

$$C_2\lambda_2 - \frac{1}{R}\frac{d}{d\mu}\left[(N_2 + s)\gamma_2\right] = 0 . \qquad (3)$$

При этом, как легко показать

$$\left.\begin{aligned}
&\gamma_1 = \sigma_2 + \sigma_1\sigma_2 - \frac{1}{3}\sigma_2^3 + \sigma_1^2\sigma_2 ;\\
&\varepsilon = \frac{1}{2}\sigma_2^2 - \sigma_1 + \frac{1}{2}\sigma_2^2\sigma_1 ;\\
&s = N_1\varepsilon , \quad \gamma_2 = \frac{1}{R(1+\varepsilon)}\frac{d\lambda_2}{d\mu} ;\\
&\sigma_1 = \frac{1}{R}\left(\frac{d\lambda_1'}{d\mu} + \lambda_3'\right), \quad \sigma_2 = \frac{1}{R}\left(\frac{d\lambda_3'}{d\mu} - \lambda_1'\right) .
\end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Рассматривая уравнения (3.10) в работе [1] как первое приближение, будем в уточненной постановке представлять их в форме степенного ряда по деформациям. Это означает, что уравнения за пределами области контакта приводятся теперь к следующему виду:

$$\frac{d\lambda_1'}{d\mu} = \Pi_{11}\lambda_1' + \Pi_{13}\lambda_3' + \Delta_{11}\lambda_3'^2 + \Delta_{12}\lambda_3'^3 + \Delta_{13}\lambda_1'\lambda_3' ; \qquad (5)$$

$$\frac{d\lambda_3^1}{d\mu} = \Pi_{31}\lambda_1' + \Pi_{33}\lambda_3' + \Delta_{31}\lambda_3'^2 + \Delta_{32}\lambda_3'^3 + \Delta_{33}\lambda_1'\lambda_3' . \qquad (6)$$

При этом учитывается, что на границе области контакта λ_1' имеет порядок α^2.

Так как λ_2 – малое отклонение, то получаем также

$$\frac{d\lambda_2}{d\mu} = F\lambda_2 , \qquad (7)$$

где в отличие от работы [1] F – функция, подлежащая определению. Находится она так. После подстановки соотношения (4) в (3) найдем

$$\begin{aligned}
&R^2 c_2\lambda_2 - \frac{d}{d\mu}\left(f\frac{d\lambda_2}{d\mu}\right) = 0 ;\\
&f = (N_2 + N_1\varepsilon)/(1+\varepsilon) .
\end{aligned} \qquad (8)$$

Дальнейшая подстановка (7) в (8) при

$$F = u(\mu) / f(\mu) \tag{9}$$

дает следующее уравнение для функции u :

$$f \frac{du}{d\mu} + u^2 - f c_2 R^2 = 0 . \tag{10}$$

Функция u разыскивается в виде

$$u = Q_{20} + Q_{21}\lambda_1' + Q_{23}\lambda_3' + \Delta_{21}\lambda_3'^2 + \Delta_{22}\lambda_3'^3 + \Delta_{23}\lambda_1'\lambda_3' . \tag{11}$$

Выражение для f в силу (8), (4)-(6) оказывается следующим:

$$f = N_2 - (N_2 - N_1)(-\sigma_1 + \frac{1}{2}\sigma_2^2 - \sigma_1^2 + \frac{3}{2}\sigma_1\sigma_2^2 - \sigma_1^3 =$$

$$= N_2 + F_{41}\lambda_1' + F_{43}\lambda_3' + F_{51}\lambda_3'^2 + F_{52}\lambda_3'^3 + F_{53}\lambda_1'\lambda_3' . \tag{12}$$

Введем обозначения

$$E_1 = \Pi_{11} + 2\Pi_{33};\ E_2 = 1 + \Pi_{13};\ E_3 = \Pi_{11} + 3\Pi_{33};$$
$$E_4 = 2\Pi_{11} + \Pi_{33};\ E_5 = \Pi_{31} - 1;\ N_{21} = (N_2 - N_1)/R . \tag{13}$$

Тогда коэффициенты, входящие в выражение для f , принимают значения

$$F_{41} = \Pi_{11} N_{21} ; \quad F_{43} = E_2 N_{21} ;$$

$$F_{51} = N_{21} (\Delta_{11} + \frac{1}{R} E_2^2 - \frac{1}{2R} \Pi_{33}^2);$$

$$F_{52} = N_{21}(\Delta_{12} + \frac{2}{R} E_2\Delta_{11} - \frac{1}{R}\Pi_{33}\Delta_{31} - \frac{3}{2R^2}\Pi_{33}^2 E_2 +$$
$$+ \frac{1}{R^2} E_2^3); \tag{14}$$

$$F_{53} = N_{21}(\Delta_{13} + \frac{2}{R} E_2 \Pi_{11} - \frac{1}{R}\Pi_{33}E_5) .$$

Таким образом, функция (9) находится после определения коэффициентов, входящих в соотношения (5) и (6), (11).

Найдем Π_{11}, Π_{13}, Π_{31}, Π_{33}, Δ_{11}, Δ_{12}, Δ_{13}, Δ_{31}, Δ_{32}, Δ_{33}. С этой целью сначала находятся выражения для

$$\frac{d^2\lambda_1'}{d\mu^2} \text{ и } \frac{d^2\lambda_3'}{d\mu^2}$$

путем дифференцирования выражений (5) и (6) с последующей заменой производных опять выражениями (5) и (6). Затем значения $\frac{d\gamma_1}{d\mu}$, $\frac{ds}{d\mu}$, а также (4) с удержанием членов порядка не выше $\alpha_3'^3$ подставляются в равенства (1) и (2). Приравнивая коэффициенты при λ_1', λ_3', $\lambda_3'^2$, $\lambda_1' \lambda_3'$, $\lambda_3'^3$ получим десять уравнений для нахождения интересующих нас десяти значений

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{c_1 R^2}{N_1} - P_{11} - \frac{N_2}{N_1} E_5 = 0; \quad -\frac{N_2}{N_1} P_{31} + \Pi_{11} = 0;\\
&\frac{N_1}{N_2} P_{13} + \Pi_{33} = 0; \qquad \frac{c_3 R^2}{N_2} - P_{33} + \frac{N_1}{N_2} E_2 = 0;
\end{aligned}\right\} \quad (15)$$

$$\left.\begin{aligned}
&\left(E_2 + \frac{N_2}{N_1}\right)\Delta_{31} + \Pi_{13}\Delta_{13} + E_1\Delta_{11} = G_1;\\
&\left(E_2 + \frac{N_2}{N_1}\right)\Delta_{33} + E_4\Delta_{13} + 2\Pi_{31}\Delta_{11} = G_2;\\
&\Pi_{13}\Delta_{33} + 3\Pi_{33}\Delta_{31} + \left(E_5 - \frac{N_1}{N_2}\right)\Delta_{11} = G_3;\\
&E_1\Delta_{33} + 2\Pi_{31}\Delta_{31} + \left(E_5 - \frac{N_1}{N_2}\right)\Delta_{13} = G_4;
\end{aligned}\right\} \quad (16)$$

$$\left.\begin{aligned}
&E_3\Delta_{12} + \left(E_2 + \frac{N_2}{N_1}\right)\Delta_{32} = -\Delta_{11}\left(\Delta_{13} + 2\Delta_{31}\right) + G_5;\\
&\left(E_5 - \frac{N_1}{N_2}\right)\Delta_{12} + 4\Pi_{33}\Delta_{32} = -\Delta_{11}\Delta_{33} - 2\Delta_{31}^2 + G_6.
\end{aligned}\right\} \quad (17)$$

Здесь

$$\begin{cases} P_{11}=\Pi_{11}^2+\Pi_{13}\Pi_{31}+\Pi_{31}; \; P_{13}=\Pi_{11}\Pi_{13}+\Pi_{13}\Pi_{31}+\Pi_{33}; \\ P_{31}=\Pi_{31}\Pi_{11}+\Pi_{33}\Pi_{31}-\Pi_{11}; \; P_{33}=\Pi_{31}\Pi_{13}+\Pi_{33}^2-\Pi_{13}; \\ D_{11}=E_1\Delta_{11}+E_2\Delta_{31}+\Pi_{13}\Delta_{13}; \\ D_{31}=E_5\Delta_{11}+3\Pi_{33}\Delta_{31}+\Pi_{13}\Delta_{33}; \end{cases} \tag{18}$$

$$\begin{cases} G_1=\frac{N_2}{N_1 R}\left(\frac{N_1}{N_2}P_{33}-\frac{c_3 R^2}{N_2}-E_2\right)\Pi_{33}; \\ G_2=\frac{1}{R}\left[(\Pi_{33}P_{31}+P_{33}E_5)-\frac{c_3 R^2 E_5}{N_1}-\right. \\ \left.-\frac{N_2}{N_1}(\Pi_{33}\Pi_{11}+E_2E_5)\right]; \\ G_3=\frac{1}{R}\left[\left(\frac{N_1}{N_2}-1\right)P_{33}E_2-\Pi_{33}P_{13}-\left(\frac{N_1}{N_2}+1\right)\frac{\Pi_{33}^2}{2}\right]; \\ G_4=\frac{1}{R}\left[(P_{31}E_2+\Pi_{11}P_{33})\left(\frac{N_1}{N_2}-1\right)-(\Pi_{33}P_{11}+E_5P_{13})-\right. \\ \left.-\Pi_{33}\left(\frac{N_1}{N_2}E_5+E_5-\frac{c_1 R^2}{N_2}\right)\right]; \\ G_5=\frac{1}{R^2}\left\{R(\Pi_{33}D_{31}+P_{33}\Delta_{31})+\frac{1}{2}\Pi_{33}(2E_2P_{33}+\right. \\ +\Pi_{33}P_{13})-\frac{c_3 R^2}{N_1}(R\Delta_{31}+\Pi_{33}E_2)-\frac{N_2}{N_1}\left[R(\Pi_{33}\Delta_{11}+\right. \\ \left.\left.+E_2\Delta_{31})+E_2^2\Pi_{33}-\tfrac{1}{2}\Pi_{33}^2\right]\right\}; \qquad (18) \\ G_6=\frac{1}{R^2}\left\{-R(E_2D_{31}+P_{33}\Delta_{11}+P_{13}\Delta_{31}+\Pi_{33}D_{11})-\right. \\ -E_2(P_{33}E_2+2\Pi_{33}P_{13})+\Pi_{33}^2P_{33}-\frac{N_1}{N_2}(R\Pi_{33}\Delta_{31}+ \end{cases}$$

$$\left\{\begin{aligned}&+\frac{1}{2}\Pi_{33}^2E_2)-\frac{c_3\ R^2\Pi_{33}^2}{2N_2}-\Pi_{33}(R\Delta_{31}+\Pi_{33}E_2)+\\&+\frac{N_1}{N_2}\Big[E_2(RD_{31}+P_{33}E_2+\Pi_{33}P_{13})+P_{33}(\Delta_{11}R-\\&-\frac{\Pi_{33}^2}{2})\Big]\end{aligned}\right\}.$$

Четыре уравнения (15) позволяют найти Π_{11}, Π_{13}, Π_{31} и Π_{33}. Однако для этой цели проще воспользоваться процедурой, описанной в работе [1]. Четыре уравнения (16) позволяют найти Δ_{11}, Δ_{13}, Δ_{31} и Δ_{33}. После этого определяются значения D_{11}, D_{31}, G_5 и G_6. Из последних двух уравнений (17) находятся Δ_{12} и Δ_{32}.

Переходим теперь к нахождению шести коэффициентов Q_{20}, Q_{21}, Q_{23}, Δ_{21}, Δ_{22}, Δ_{23}. С этой целью подставим выражения (11), (12) в уравнения (10). Приравнивая коэффициенты при свободных членах, а также при λ_1', λ_3', $\lambda_3'^2$, $\lambda_1'\lambda_3'$, $\lambda_3'^3$ получим шесть уравнений

$$Q_{20}^2 = N_2 c_2 R^2\ ; \qquad (19)$$

$$\left.\begin{aligned}&Q_{21}(N_2\Pi_{11}+2Q_{20})+Q_{23}N_2\Pi_{31}=c_2R^2F_{41};\\&Q_{21}N_2\Pi_{13}+Q_{23}(N_2\Pi_{33}+2Q_{20})=c_2R^2F_{43};\end{aligned}\right\} \qquad (20)$$

$$\left.\begin{aligned}&\Delta_{21}(2N_2\Pi_{33}+2Q_{20})+\Delta_{23}N_2\Pi_{13}=G_7;\\&\Delta_{21}\,2N_2\Pi_{31}+\Delta_{23}\big[N_2(\Pi_{11}+\Pi_{33})+2Q_{20}\big]=G_8;\end{aligned}\right\} \qquad (21)$$

$$\Delta_{22}(3N_2\Pi_{33}+2Q_{20})=G_9\ . \qquad (22)$$

Здесь $Q_{01}=Q_{21}\Pi_{11}+Q_{23}\Pi_{31}$; $Q_{03}=Q_{21}\Pi_{13}+Q_{23}\Pi_{33}$;

$$G_7=c_2R^2F_{51}-Q_{23}^2-F_{43}Q_{03}-N_2(Q_{21}\Delta_{11}+Q_{23}\Delta_{31});$$

$$G_8 = c_2 R^2 F_{53} - F_{41} Q_{03} - F_{43} Q_{01} - 2 Q_{21} Q_{23} -$$

$$- N_2 (Q_{21} \Delta_{13} + Q_{23} \Delta_{33}) ;$$

$$G_9 = c_2 R^2 F_{52} - N_2 (Q_{21} \Delta_{12} + Q_{23} \Delta_{32} + \Delta_{23} \Delta_{11} +$$

$$+ 2 \Delta_{21} \Delta_{31}) - F_{43} (Q_{21} \Delta_{11} + Q_{23} \Delta_{31} + \Delta_{23} \Pi_{13} +$$

$$+ 2 \Delta_{21} \Pi_{33}) - F_{51} Q_{03} - 2 Q_{23} \Delta_{21} .$$

Таким образом, из (19) находим Q_{20}, а затем из уравнений (20) – Q_{21} и Q_{23}. Далее определяются Q_{01}, Q_{03}, G_7, G_8, а по ним из уравнений (21) находятся Δ_{21} и Δ_{23}. Из последнего уравнения (22) устанавливается значение Δ_{22}.

Определим далее кинематические коэффициенты $к_{17}$, $к_{18}$ $к_{19}$, $к_{20}$ и другие величины, связанные с ними. Существенной особенностью здесь является учет свободных членов порядка не выше α_0^3 и коэффициентов перед малыми отклонениями порядка не выше α_0^2. Кинематические коэффициенты находятся из условия непрерывности $\frac{d\lambda_1}{d\mu}$; $\frac{d\lambda_2}{d\mu}$; $\frac{d\lambda_3}{d\mu}$ при $\mu = 0$ и $\frac{d\lambda_3}{d\mu}$ при $\mu = 2\alpha_0 + \beta + \beta_1$ (см. [1]).

Из соотношений (2.5) в [1] находим производные $\frac{d\lambda_1}{d\mu}$ и $\frac{d\lambda_3}{d\mu}$ при $\mu = 0$, которые выражаются через $\frac{d\lambda_1'}{d\mu}$ и $\frac{d\lambda_3'}{d\mu}$. Взяв последние в форме (5) и (6) и приняв во внимание при $\mu = 0$ равенства $\lambda_1' = \lambda_1 + \alpha\lambda_3$; $\lambda_3' = -\alpha\lambda_1 + (1 - \alpha^2/2)\lambda_3$, найдем с удержанием членов порядка не выше α^3 при $\mu = 0$

$$\frac{d\lambda_1}{d\mu} = \lambda_1 \cdot (L_{110} + L_{11\beta}\,\beta) + \lambda_3 \cdot (L_{130} + L_{13\beta}\,\beta) +$$

$$+ \lambda_3^2 \cdot (L_{10} + L_{1\beta}\,\beta) + \lambda_3^3 \Delta_{12} + \lambda_1 \lambda_3 \Delta_{13} ; \qquad (23)$$

$$\frac{d\lambda_3}{d\mu} = \lambda_1 \cdot (L_{310} + L_{31\beta}\,\beta) + \lambda_3 (L_{330} + L_{33\beta}\,\beta) +$$

$$+\lambda_3^2(L_{30}+L_{3\beta}\beta)+\lambda_3^3\Delta_{32}+\lambda_1\lambda_3\Delta_{33}. \qquad (24)$$

Здесь, как следует из выражений (5.9) - (5.11) в [1] при $\mu = 0$,

$$\left.\begin{aligned}
&\lambda_1=\lambda_{1\varphi}+\lambda_{1\beta}\beta+\lambda_{1\alpha};\ \lambda_3=\lambda_{3\varphi}+\lambda_{3\beta}\beta+\lambda_{3\alpha};\\
&\lambda_{1\varphi}=w_1(\varphi)-u_1(\varphi)+b\,\theta(\varphi);\\
&\lambda_{1\beta}=r-R+R\alpha_0^2/2;\quad \lambda_{1\alpha}=\alpha_0(r-R)+R\alpha_0^3/6;\\
&\lambda_{3\varphi}=-b\,\psi(\varphi)-u_3(\varphi);\ \lambda_{3\beta}=-R\alpha_0;\ \lambda_{3\alpha}=\lambda_{30};
\end{aligned}\right\}(25)$$

$$\left.\begin{aligned}
&L_{110}=\Pi_{11}-\alpha_0\Pi^0;\ L_{11\beta}=-\Pi^0;\ L_{130}=1+\Pi_{13}+\Pi^*\alpha_0-\\
&-\Pi^0\alpha_0^2;\\
&L_{13\beta}=\Pi^*-2\alpha_0\Pi^0;\ L_{10}=\Delta_{11}+\alpha_0\Delta^0;\ L_{1\beta}=\Delta^0;\\
&L_{310}=\Pi_{31}-1+\alpha_0\Pi^*;\ L_{31\beta}=\Pi^*;\ L_{330}=\Pi_{33}+\\
&+\alpha_0\Pi^0+\alpha_0^2\Pi^*;\\
&L_{33\beta}=\Pi^0+2\alpha_0\Pi^*;\ L_{30}=\Delta_{31}+\alpha_0\Delta^*;\ L_{3\beta}=\Delta^*;\\
&\Pi^0=\Pi_{13}+\Pi_{31};\ \Pi^*=\Pi_{11}-\Pi_{33};\ \Delta^0=\Delta_{13}-\Delta_{31};\\
&\Delta^*=\Delta_{11}+\Delta_{33}.
\end{aligned}\right\}(26$$

После дифференцирования также получаем

$$\frac{d\lambda_1(\varphi,0)}{d\mu}=-\frac{dw_1(\varphi)}{d\varphi}-R\sin\alpha_0\cdot\beta-r+R\cos\alpha_0; \qquad (27)$$

$$\frac{d\lambda_3(\varphi,0)}{d\mu}=R\cos\alpha_0\cdot\beta+R\sin\alpha_0. \qquad (28)$$

В силу непрерывности $\frac{d\lambda_1}{d\mu}$ при $\mu = 0$ приравняем (23) и (27). В результате из равенства свободных членов находим

$$(R - r) = H_2 / H_1 ; \qquad (29)$$

$$H_1 = 1 + \alpha_0 \cdot (L_{110} + \Delta_{13} \lambda_{30}) ;$$

$$H_2 = R \alpha_0^2 / 2 + L_{110} R \alpha_0^3 / 6 + \lambda_{30} L_{130} + L_{10} \lambda_{30}^2 + $$
$$+ \Delta_{12} \lambda_{30}^3 .$$

Одновременно получаем уравнение и для малых отклонений в форме

$$\frac{d w_1 (\varphi)}{d \varphi} + H_3 \lambda_{1\varphi} + H_4 \lambda_{3\varphi} + H_5 \beta = 0 , \qquad (30)$$

где $H_3 = L_{110} + \Delta_{13} \lambda_{30}$;

$$H_4 = L_{130} + 2 L_{10} \lambda_{30} + 3 \Delta_{12} \lambda_{30}^2 + \Delta_{13} \lambda_{1\alpha} ;$$

$$H_5 = R \sin \alpha_0 + L_{110} \lambda_{1\beta} + L_{11\beta} \lambda_{1\alpha} + L_{130} \lambda_{3\beta} +$$
$$+ L_{13\beta} \lambda_{30} + L_{1\beta} \lambda_{30}^2 - 2 R \Delta_{11} \alpha_0 \lambda_{30} +$$
$$+ \Delta_{13} \lambda_{1\alpha} \lambda_{3\beta} + \Delta_{13} \lambda_{30} \lambda_{1\beta} .$$

В силу непрерывности $d \lambda_3 / d \mu$ при $\mu = 0$ также находим

$$- R \sin \alpha_0 + (L_{310} + \Delta_{33} \lambda_{30}) \left[\alpha_0 (r - R) + R \alpha_0^3 / 6 \right] +$$
$$+ L_{330} \lambda_{30} + L_{30} \lambda_{30}^2 + \Delta_{32} \lambda_{30}^3 = 0 ; \qquad (31)$$

$$\beta = l_5 \lambda_{3\varphi} + l_6 \lambda_{1\varphi} , \qquad (32)$$

где $l_5 = H_7 / d_1$; $l_6 = H_6 / d_1$; $H_6 = L_{310} + \Delta_{33} \lambda_{30}$;

$$H_7 = L_{330} + 2 L_{30} \lambda_{30} + 3 \Delta_{32} \lambda_{30}^2 + \Delta_{33} \lambda_{1\alpha} ;$$

$$d_1 = - (- R \cos \alpha_0 + L_{310} \lambda_{1\beta} + L_{31\beta} \lambda_{1\alpha} +$$
$$+ L_{330} \lambda_{3\beta} + L_{33\beta} \lambda_{30} + L_{3\beta} \lambda_{30}^2 - 2 R \Delta_{31} \alpha_0 \lambda_{30} +$$
$$+ \Delta_{33} \lambda_{1\alpha} \lambda_{3\beta} + \Delta_{33} \lambda_{30} \lambda_{1\beta}).$$

Уравнение (30) с помощью (32) легко привести к виду (5.13) [1]

$$w_1(\varphi)+l_1\frac{d\,w_1(\varphi)}{d\varphi}=u_1(\varphi)-b\,\theta(\varphi)-l_2\beta(\varphi) \quad (33)$$

При этом $l_1=1/H_8$, $l_2=H_9/H_8$, $H_8=H_3-H_4H_6/H_7$,

$H_9=H_5+H_4\,d_1/H_7$.

Непосредственная подстановка (25) и (32) в уравнение (30) дает кинематическое соотношение

$$w_1(\varphi)+\kappa_{17}\frac{d\,w_1(\varphi)}{d\varphi}=u_1(\varphi)-b\,\theta(\varphi)+\kappa_{18}\left[b\psi(\varphi)+\right.$$

$$\left.+u_3(\varphi)\right]; \quad (34)$$

$\kappa_{17}=1/(H_3+H_5\,l_6)$; $\kappa_{18}=(H_4+H_5l_5)/(H_3+H_5\,l_6)$.

Проделав аналогичные преобразования, из непрерывности $d\lambda_3/d\mu$ при $\mu=2\alpha_0+\beta+\beta_1$ также находим

$$\beta_1(\varphi)=-l_5\left[b\psi(\varphi)+u_3(\varphi)\right]-l_6\left[w_1(\varphi-2\alpha_0)-\right.$$

$$\left.-u_1(\varphi)+b\,\theta(\varphi)\right] \quad (35)$$

и соотношение, аналогичное (31).

Воспользуемся соотношением (5.10) в работе [1]. Тогда из непрерывности $d\lambda_2/d\mu$ при $\mu=0$ и уравнений (7), (9) следует

$$w_2(\varphi)+\kappa_{19}\frac{d\,w_2(\varphi)}{d\varphi}=u_2(\varphi)+\kappa_{20}\,\theta(\varphi), \quad (36)$$

где $\kappa_{19}=1/(\tau_2^*R)=l_3$; $\kappa_{20}=r(\alpha_0+\kappa_{19})=l_4$.

Отметим, что уравнения (29) и (31) позволяют найти радиус качения в свободном режиме r и величину λ_{30}, связанную со статическим радиусом $z_{co}=R\cos\alpha_0-\lambda_{30}$.

В соответствии с изложенным алгоритмом автором составлена и отлажена программа на ФОРТРАНе для ЭВМ "Минск-32" по определению параметров деформируемого колеса (объем порядка 600 карт).

Резюме. В работе учтена нелинейность дифференциальных уравнений, описывающих деформации за пределами области контакта, что позволило более точно определить кинематические коэффициенты, входящие в теорию качения.

Литература

1. Левин М.А. Определение реакций связей катящегося деформируемого колеса. – Изв. АН СССР. Механика твердого тела, 1977, № 6.

УДК 531.3

О.С. Баршай, М.А. Левин, канд. техн. наук

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ГИБКОЙ НИТИ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СО ШКИВОМ

В работе рассматривается нестационарное движение гибкой нерастяжимой нити, контактирующей со шкивом. При этом периферия шкива (или нить) обладает сдвиговыми свойствами. В частном случае рассматривается и стационарное движение.

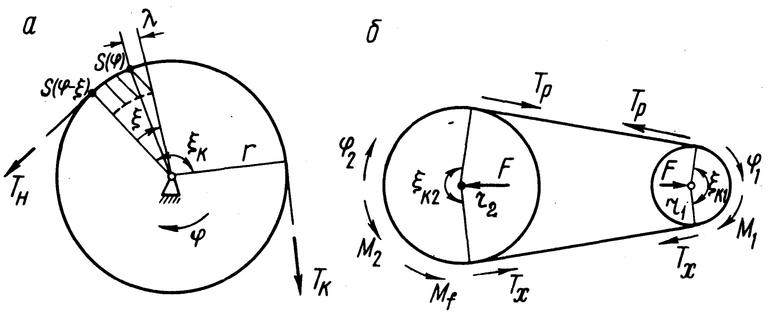

Рис. 1. Схемы контакта гибкой нити со шкивом (а) и передачи гибкой нитью (б).

Полученные результаты применимы в случаях, когда растяжимостью нити можно пренебречь, например, в передачах стальной лентой или кордшнуровым ремнем с кордом из стекловолокна по футерованным шкивам или в транспортных устройствах со стальным тяговым органом и футерованными барабанами. Передача гибкой нитью рассматривалась в [1] – [4]. В данной работе в рамках принятых допущений дается уточненное решение задачи, основывающееся на подходе, аналогичном предложенному в [5].