АЛГОРИТМ РАСЧЕТА РАСПЕРЕДЕЛЕНИЯ НАТЯЖЕНИЯ МЕЖДУ ВЕТВЯМИ РЕМНЯ ЗАДАННГОГО ПЕРЕДАТИОЧНОНГО МЕХАНИЗМА

Эргашов Махамматрасул
д-р техн. наук,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: mahamatrasul.ergashov@gmail.com
Дремова Надежда Васильевна
ст. преподаватель,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: nadejda_ser@mail.ru

Аннотация: *Приведены постановка и решения задач о вращении растяжимого и нерастяжимого ремня передаточного механизма с четыремя внутренними шкивами, движущейся в стационарном режиме с заданной скоростью. Используя: условия непрерывности стационарного движения материальных частицу ремня; зависисимости кинематичеких условий, ишеющих места в точках набегания и сбегания элементов ремня с поверхнохности шкивов и зависимости направления действия реактивнх сил, имеющих место на поверхности шкивов от конструктивных параметров механизма; теорему об изменении количества движения и закона сохранения массы элеменнтов ремня, имеющих в областях перехода элементов ремня поверхности шкивов; законов Гука для растяжимого материла ремня и Кулона для сил трения ремня о поверхноси шкивов пострена замкнутая система для определения показетели растпеределения натяжения и деформации между ветвями ремня. Задача, в случае растяжения ремня в пределах упругости, сведена к численному решению системы алгебрачиских уравнений относительно деформаций ветвей ремня, а в случае нерастяжимого ремня получено удобные для инженерных расчетов зависимости значения и закона распределения натяжения между ветвями ремня от свойства материала, конструктивных и технологических параметров, а также скорости вращения механизма. Рассматривается задача расчета рацональных начальных (наладочных) параметров, устанавливаемых при подготовке механизма к работе.*

Ключевые слова: *шкив, технологические параметры, механизм, деформация, уравнение, задача.*

Abstract: *The formulation and solutions of problems on the rotation of a tensile and inextensible belt of a transmission mechanism with four internal pulleys moving in a stationary mode at a given speed are presented. Using: conditions of continuity of stationary motion of a material particle of a belt; the dependence of the kinematic*

conditions that exist at the points of approach and run-off of the belt elements from the surface of the pulleys and the dependence of the direction of action of the reactive forces occurring on the surface of the pulleys on the design parameters of the mechanism; the theorem on the change in momentum and the law of conservation of mass of belt elements having pulley surfaces in the transition areas of belt elements; Hooke's laws for the tensile material of the belt and Coulomb's laws for the friction forces of the belt on the surface of the pulleys, a closed system was built to determine the distribution of tension and deformation between the branches of the belt. The problem, in the case of belt stretching within the limits of elasticity, is reduced to a numerical solution of a system of algebraic equations regarding the deformations of the belt branches, and in the case of an inextensible belt, convenient for engineering calculations dependences of the value and law of tension distribution between the belt branches on the material properties, design and technological parameters are obtained, as well as the rotation speed of the mechanism. The problem of calculating rational initial (adjustment) parameters set when preparing the mechanism for operation is considered.

Key words: *pulley, technological parameters, mechanism, deformation, equation, problem*

Постановка задачи. Рассмотрим задачу о вращении в напрвлении часовой стрелки в стационарном режиме с заданной скоростью u передаточного механизма с четыремя шкивами, имеющих размеры диаметров d_1, d_2, d_3, d_4 $(d_1 > d_4 > d_2 = d_3)$ и расположенными точках O_1, O_2, O_3, O_4 (рис. 1) рассматриваемой плоскости (x, y).

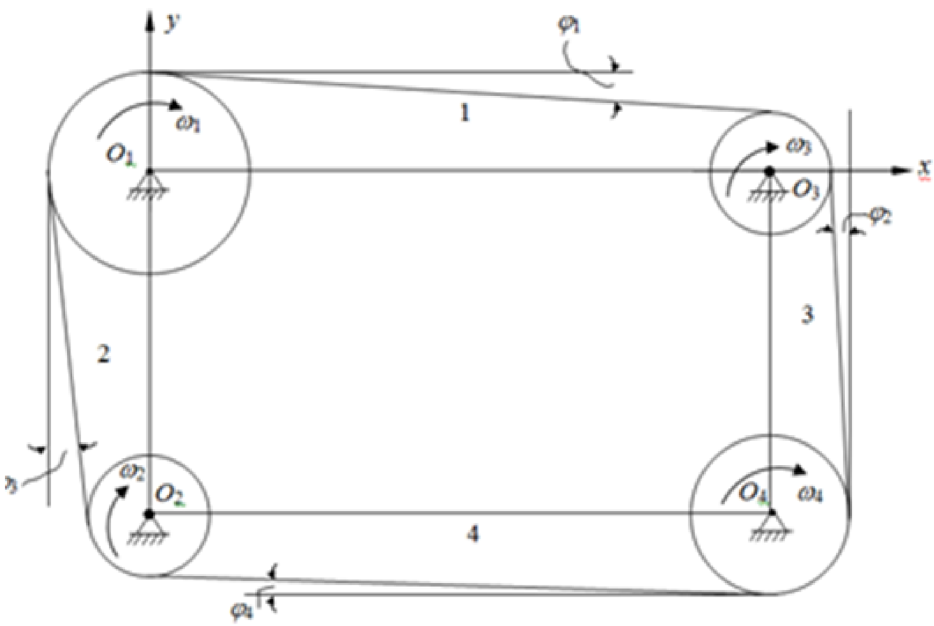

Рис. 1. Обща схема движения передаточного механизма

Начало системы координат разместим в центре первого шкива. Горизонтальная ось x проходит через центры первого и третьего шкивов, а ось y – перпендикулярно к оси x.

Параметрам растяжимого ремня будем присуждать индексы $1, 2, 3, 4$, в соответствии с принятым на рис.1 областям движения, а параметрам нерастяжимого ремня в состоянии покоя механизма и движения в стационарном режиме, будем присваивать индексы *оо* и *о* соответственно.

На участках контакта ремня со шкивами действуют распределенные по длине этого участка силы давления R_i и трения $F_{TP}^{(i)}$, связанные между собой с помощью закона Кулона [1, 2], где $i = 1, 2, 3, 4$. В зависимости от величины диаметров d_i, координата расположения центров шкивов силы давления R_1, R_2, R_3 и R_4 (рис. 2– 5), а также свойства материала ремня векторы реактивных сил могут образовать с горизонтальной осью x углы β_i соответственно [1-5].

Предположим, что линии действия равнодействующих сил давления совпадают с биссектрисами углов обхвата ремнем поверхности соответствующих шкивов. Линии действия сил трения и ведущих сил P_i шкивов перпендикулярны к линиям действия соответствующих сил давления [6-10].

Неизвестные углы β_i определяются из следующих выражений (рис.2–5):

$$\beta_1 = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}; \quad \beta_2 = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}; \quad \beta_3 = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_3 - \varphi_1}{2}; \quad \beta_4 = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_4 - \varphi_3}{2}.$$

Кинематические условия непрерывности движения и закон сохранения массы элемента ремня, имеющие место при переходе поверхности шкивов, принимают вид:

$$x_1^{\bullet} dt = \cos\varphi_1 ds_1, \quad y_1^{\bullet} dt = -\sin\varphi_1 ds_1; \quad x_2^{\bullet} dt = -\sin\varphi_2 ds_2, \quad y_2^{\bullet} dt = \cos\varphi_2 ds_2;$$

$$x_3^{\bullet} dt = \sin\varphi_3 ds_3, \quad y_3^{\bullet} dt = -\cos\varphi_3 ds_3; \quad x_4^{\bullet} dt = -\cos\varphi_4 ds_4, \quad y_4^{\bullet} dt = \sin\varphi_4 ds_4;$$

$$\rho_0 F_0 ds_0 = \rho_1 F_i ds_i.$$

Здесь и в дальнейшем: $x_i^{\bullet}$ и $y_i^{\bullet}$ - составляющие скорости движения частиц ремня на оси x и y соответственно; φ_i - угол, образованный между касательной к рассматриваемой точке ремня и осью x; t - время; ρ, F, ds - плотность материала, площадь поперечного сечения и длина рассматриваемого элемента ремня; T - натяжение.

Запишем уравнения закона сохранения количества движения в проекциях на оси x и y [11-14]

– на поверхности первого шкива

$$\rho_1 F_1 ds_1 \left(x_1^{\bullet} - x_2^{\bullet} \right) = \left(T_1 \cos\varphi_1 + T_2 \sin\,\varphi_2 - R_1 \cos\beta_1 - fR_1 \sin\,\beta_1 + P_1 \sin\,\beta_1 \right) dt\,,$$

$$\rho_1 F_1 ds_1 \left(y_1^{\bullet} - y_2^{\bullet} \right) = \left(-T_1 \sin\,\varphi_1 - T_2 \cos\varphi_2 + R_1 \sin\,\beta_1 - fR_1 \cos\beta_1 + P_1 \cos\beta_1 \right) dt\,;$$

– на поверхности второго шкива

$$\rho_2 F_2 ds_2 \left(x_2^{\bullet} - x_4^{\bullet} \right) = \left(-T_2 \sin\,\varphi_2 + T_4 \cos\varphi_4 - R_2 \cos\beta_2 + fR_2 \sin\,\beta_2 - P_2 \sin\,\beta_2 \right) dt\,,$$

$$\rho_2 F_2 ds_2 \left(y_2^{\bullet} - y_4^{\bullet} \right) = \left(T_2 \cos\varphi_2 - T_4 \sin\,\varphi_4 - R_2 \sin\,\beta_2 - fR_2 \cos\beta_2 + P_2 \cos\beta_2 \right) dt\,;$$

– на поверхности третьего шкива

$$\rho_3 F_3 ds_3 \left(x_3^{\bullet} - x_1^{\bullet} \right) = \left(T_3 \sin\,\varphi_3 - T_1 \cos\varphi_1 + R_3 \cos\beta_3 - fR_3 \sin\,\beta_3 + P_3 \sin\,\beta_3 \right) dt\,,$$

$$\rho_3 F_3 ds_3 \left(y_3^{\bullet} - y_1^{\bullet} \right) = \left(-T_3 \cos\varphi_3 + T_1 \sin\,\varphi_1 + R_3 \sin\,\beta_3 + fR_3 \cos\beta_3 - P_3 \cos\beta_3 \right) dt\,;$$

– на поверхности четвертого шкива

$$\rho_4 F_4 ds_4 \left(x_4^{\bullet} - x_3^{\bullet} \right) = \left(-T_4 \cos\varphi_4 - T_3 \sin\,\varphi_3 + R_4 \cos\beta_4 + fR_4 \sin\,\beta_4 - P_4 \sin\,\beta_4 \right) dt\,,$$

$$\rho_4 F_4 ds_4 \left(y_4^{\bullet} - y_3^{\bullet} \right) = \left(T_4 \sin\,\varphi_4 + T_3 \cos\varphi_3 - R_4 \sin\,\beta_4 + fR_4 \cos\beta_4 - P_4 \cos\beta_4 \right) dt\,.$$

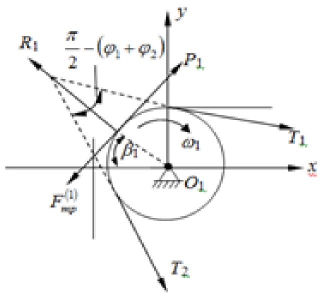

Рис. 2. Схема действия сил на ремень на поверхности первого шкива.

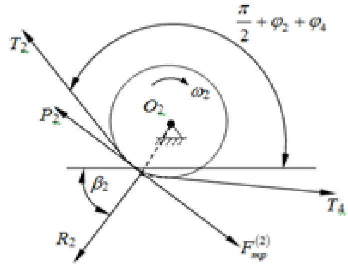

Рис. 3. Схема действия сил на ремень на поверхности второго шкива.

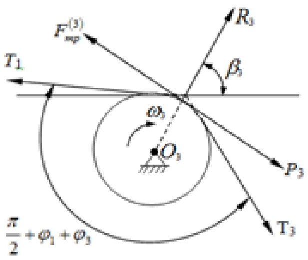

Рис. 4. Схема действия сил на ремень на поверхности третьего шкива.

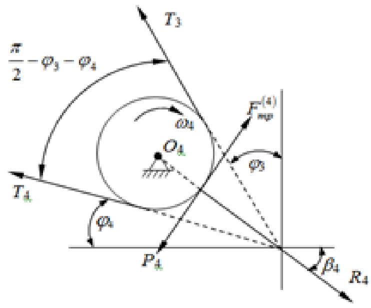

Рис. 5. Схема действия сил на ремень на поверхности четвертого шкива.

Решение задачи. С помощью несложных преобразований [6-10], уравнения закона сохранения количества движения, приводим к виду

$$\frac{-\varepsilon_1\varepsilon_2\cos(\varphi_2+\varphi_1)}{(1+\varepsilon_{001})(1+\varepsilon_1)} = -\varepsilon_2\cos(\varphi_2+\varphi_1) - \hat{R}_1\lambda_{11} + \hat{P}_1\cos(\varphi_1-\beta_1),$$

$$\frac{-\varepsilon_1^2\cos(\varphi_2+\varphi_1)}{(1+\varepsilon_{001})(1+\varepsilon_1)} = \varepsilon_1\cos(\varphi_2+\varphi_1) - \hat{R}_1\lambda_{12} + \hat{P}_1\sin(\varphi_2+\beta_1),$$

$$\frac{\varepsilon_2\varepsilon_4\cos(\varphi_4+\varphi_2)}{(1+\varepsilon_{002})(1+\varepsilon_2)} = \varepsilon_4\cos(\varphi_4+\varphi_2) - \hat{R}_2\lambda_{21} + \hat{P}_2\sin(\varphi_2-\beta_2),$$

$$\frac{\varepsilon_2^2\cos(\varphi_2+\varphi_4)}{(1+\varepsilon_{002})(1+\varepsilon_2)} = \varepsilon_2\cos(\varphi_2+\varphi_4) - \hat{R}_2\lambda_{22} + \hat{P}_2\cos(\varphi_4+\beta_2),$$

$$\frac{\varepsilon_1\varepsilon_3\cos(\varphi_1+\varphi_3)}{(1+\varepsilon_{003})(1+\varepsilon_3)} = -\varepsilon_1\cos(\varphi_1+\varphi_3) - \hat{R}_3\lambda_{31} - \hat{P}_3\sin(\varphi_3-\beta_3),$$

$$\frac{\varepsilon_3^2\cos(\varphi_1+\varphi_3)}{(1+\varepsilon_{003})(1+\varepsilon_3)} = -\varepsilon_3\cos(\varphi_1+\varphi_3) - \hat{R}_3\lambda_{32} - \hat{P}_3\cos(\varphi_1+\beta_3),$$

$$\frac{-\varepsilon_4\varepsilon_3\cos(\varphi_4+\varphi_3)}{(1+\varepsilon_{004})(1+\varepsilon_4)} = -\varepsilon_3\cos(\varphi_4+\varphi_3) - \hat{R}_4\lambda_{41} + \hat{P}_4\cos(\varphi_4-\beta_4),$$

$$\frac{\varepsilon_4^2\cos(\varphi_4+\varphi_3)}{(1+\varepsilon_{004})(1+\varepsilon_4)} = \varepsilon_4\cos(\varphi_4+\varphi_3) - \hat{R}_4\lambda_{42} + \hat{P}_4\cos(\varphi_3+\beta_4),$$

$$\eta_{11} = \cos\beta_1 + f\sin\beta_1, \qquad \eta_{12} = \sin\beta_1 - f\cos\beta_1,$$

$$\eta_{21} = \cos\beta_2 - f\sin\beta_2, \qquad \eta_{22} = \sin\beta_2 + f\cos\beta_2,$$

$$\eta_{31} = -\cos\beta_3 + f\sin\beta_3, \qquad \eta_{32} = \sin\beta_3 + f\cos\beta_3,$$

$$\eta_{41} = \cos\beta_4 + f\sin\beta_4, \qquad \eta_{42} = \sin\beta_4 - f\cos\beta_4,$$

$$\hat{R}_i = \frac{R_i}{\rho_{00}F_{00}a_0^2}, \quad \hat{P}_i = \frac{P_i}{\rho_{00}F_{00}a_0^2},$$

$$\lambda_{11} = \eta_{11}\sin\varphi_1 - \eta_{12}\cos\varphi_1, \quad \lambda_{12} = \eta_{11}\cos\varphi_2 - \eta_{12}\sin\varphi_2, \quad \lambda_{21} = \eta_{21}\sin\varphi_2 + \eta_{22}\cos\varphi_2.$$

$$\lambda_{22} = \eta_{21}\sin\varphi_4 + \eta_{22}\cos\varphi_4, \quad \lambda_{31} = \eta_{31}\cos\varphi_3 - \eta_{32}\sin\varphi_3, \quad \lambda_{32} = \eta_{31}\sin\varphi_1 - \eta_{32}\cos\varphi_1,$$

$$\lambda_{41} = \eta_{41}\sin\varphi_4 - \eta_{42}\cos\varphi_4, \quad \lambda_{42} = \eta_{41}\cos\varphi_3 - \eta_{42}\sin\varphi_3.$$

Исключая неизвестные реактивные силы, последние уравнения приводим к виду

$$\frac{-\varepsilon_2}{\lambda_{11}}\left[\frac{\varepsilon_1}{(1+\varepsilon_{001})(1+\varepsilon_1)}-1\right]-\hat{P}_1\frac{\cos(\varphi_1-\beta_1)}{\lambda_{11}\cos(\varphi_2+\varphi_1)}=$$
$$=\frac{-\varepsilon_1}{\lambda_{12}}\left[\frac{\varepsilon_1}{(1+\varepsilon_{001})(1+\varepsilon_1)}+1\right]-\hat{P}_1\frac{\sin(\varphi_2+\beta_1)}{\lambda_{12}\cos(\varphi_2+\varphi_1)},$$

$$\frac{\varepsilon_4}{\lambda_{21}}\left[\frac{\varepsilon_2}{(1+\varepsilon_{002})(1+\varepsilon_2)}-1\right]-\hat{P}_2\frac{\sin(\varphi_2-\beta_2)}{\lambda_{21}\cos(\varphi_2+\varphi_4)}=$$
$$=\frac{\varepsilon_2}{\lambda_{22}}\left[\frac{\varepsilon_2}{(1+\varepsilon_{002})(1+\varepsilon_2)}-1\right]-\hat{P}_2\frac{\cos(\varphi_4+\beta_2)}{\lambda_{22}\cos(\varphi_2+\varphi_4)},$$
$$\frac{\varepsilon_1}{\lambda_{31}}\left[\frac{\varepsilon_3}{(1+\varepsilon_{003})(1+\varepsilon_3)}+1\right]+\hat{P}_3\frac{\sin(\varphi_3-\beta_3)}{\lambda_{31}\cos(\varphi_1+\varphi_3)}=$$
$$=\frac{\varepsilon_3}{\lambda_{32}}\left[\frac{\varepsilon_3}{(1+\varepsilon_{003})(1+\varepsilon_3)}+1\right]+\hat{P}_3\frac{\cos(\varphi_1+\beta_3)}{\lambda_{32}\cos(\varphi_1+\varphi_3)},$$
$$\frac{-\varepsilon_3}{\lambda_{41}}\left[\frac{\varepsilon_4}{(1+\varepsilon_{004})(1+\varepsilon_4)}-1\right]-\hat{P}_4\frac{\cos(\varphi_4-\beta_4)}{\lambda_{41}\cos(\varphi_4+\varphi_3)}=$$
$$=\frac{\varepsilon_4}{\lambda_{42}}\left[\frac{\varepsilon_4}{(1+\varepsilon_{004})(1+\varepsilon_4)}-1\right]-\hat{P}_4\frac{\sin(\varphi_3+\beta_4)}{\lambda_{42}\cos(\varphi_4+\varphi_3)}.$$

Последние уравнения образуют систему относительно неизвестных деформаций ε_i. Они могут быть использованы для численно-экспериментального установления зависимости значения и закона распределения деформаций ветвей ремня от свойства материала ремня и конструктивной схемы механизма.

Частные случаи. 1°. В частности, при

$\varepsilon_{001}=0$, $\varepsilon_{002}=0$, $\varepsilon_{003}=0$ и $\varepsilon_{004}=0$

то, последние уравнения приводятся к виду

$$\lambda_{12}\varepsilon_2+\lambda_{11}\varepsilon_1(1+2\varepsilon_1)=(1+\varepsilon_1)\gamma_1,$$
$$-\lambda_{22}\varepsilon_4+\lambda_{21}\varepsilon_2=(1+\varepsilon_2)\gamma_2,$$
$$\lambda_{32}\varepsilon_1(1+2\varepsilon_3)-\lambda_{31}\varepsilon_3(1+2\varepsilon_3)=(1+\varepsilon_3)\gamma_3,$$
$$\lambda_{42}\varepsilon_3+\lambda_{41}\varepsilon_4=(1+\varepsilon_4)\gamma_4,$$

$$\gamma_1=\frac{\hat P_1}{\cos(\varphi_2+\varphi_1)}\left[\lambda_{12}\cos(\varphi_1-\beta_1)-\lambda_{11}\sin(\varphi_2+\beta_1)\right],$$
$$\gamma_2=\frac{\hat P_2}{\cos(\varphi_2+\varphi_4)}\left[\lambda_{22}\sin(\varphi_2-\beta_2)-\lambda_{21}\cos(\varphi_4+\beta_2)\right],$$
$$\gamma_2=\frac{\hat P_3}{\cos(\varphi_1+\varphi_3)}\left[-\lambda_{32}\sin(\varphi_3-\beta_3)+\lambda_{31}\cos(\varphi_1+\beta_3)\right],$$
$$\gamma_4=\frac{\hat P_4}{\cos(\varphi_4+\varphi_3)}\left[\lambda_{42}\cos(\varphi_4-\beta_4)-\lambda_{41}\sin(\varphi_3+\beta_4)\right].$$

Из уравнения (1), (2) и (4), найдем

$$\varepsilon_2=\frac{-\lambda_{11}\varepsilon_1(1+2\varepsilon_1)+(1+\varepsilon_1)\gamma_1}{\lambda_{12}},$$

$$\varepsilon_4=\frac{\gamma_{22}\varepsilon_2-\gamma_2}{\lambda_{22}}=\frac{\gamma_1\gamma_{22}(1+\varepsilon_1)-\lambda_{11}\gamma_{22}\varepsilon_1(1+2\varepsilon_1)-\gamma_2\lambda_{12}}{\lambda_{12}\lambda_{22}},$$

$$\varepsilon_3=\frac{\gamma_4-\gamma_{44}\varepsilon_4}{\lambda_{42}}=\frac{\lambda_{12}\lambda_{22}\gamma_4-\gamma_1\gamma_{22}\gamma_{44}(1+\varepsilon_1)+\lambda_{11}\gamma_{22}\gamma_{44}\varepsilon_1(1+2\varepsilon_1)+\gamma_2\gamma_{44}\lambda_{12}}{\lambda_{12}\lambda_{22}\lambda_{42}}=\frac{q_0+q_1\varepsilon_1+q_2\varepsilon_1^2}{c_0},$$

где

$$\gamma_{22}=\lambda_{21}-\gamma_2,\quad \gamma_{44}=\lambda_{41}-\gamma_4,\quad c_0=\lambda_{12}\lambda_{22}\lambda_{42},\quad q_0=\lambda_{12}\lambda_{22}\gamma_4-\gamma_{44}(\gamma_1\gamma_{22}-\gamma_2\lambda_{12}),$$
$$q_1=\gamma_{22}\gamma_{44}(\lambda_{11}-\gamma_1),\quad q_2=2\lambda_{11}\gamma_{22}\gamma_{44}.$$

Подставляя последнее выражение ε_3 в уравнение (3), будем иметь

$$\lambda_{32}c_0\varepsilon_1(c_0+2q_0+2q_1\varepsilon_1+2q_2\varepsilon_1^2)-\lambda_{31}(q_0+q_1\varepsilon_1+q_2\varepsilon_1^2)(c_0+2q_0+2q_1\varepsilon_1+2q_2\varepsilon_1^2)=$$
$$=c_0\gamma_3(c_0+q_0+q_1\varepsilon_1+q_2\varepsilon_1^2).$$

Далее

$$\lambda_{32}(c_0^2\varepsilon_1+2q_0c_0\varepsilon_1+2q_1c_0\varepsilon_1^2+2q_2c_0\varepsilon_1^3)-\lambda_{31}(q_0c_0+2q_0^2+2q_0q_1\varepsilon_1+2q_0q_2\varepsilon_1^2+q_1c_0\varepsilon_1+2q_0q_1\varepsilon_1+$$
$$+2q_1^2\varepsilon_1^2+2q_1q_2\varepsilon_1^3+c_0q_2\varepsilon_1^2+2q_0q_2\varepsilon_1^2+2q_1q_2\varepsilon_1^3+2q_2^2\varepsilon_1^4)=c_0\gamma_3(c_0+q_0+q_1\varepsilon_1+q_2\varepsilon_1^2).$$

Отсюда

$$b_0 + b_1\varepsilon_2 + b_2\varepsilon_2^2 + b_3\varepsilon_2^3 + b_4\varepsilon_2^4 = 0,$$

$$b_4 = -2\lambda_{31}q_2^2, \quad b_3 = 2q_2(\lambda_{32}c_0 - 2\lambda_{31}q_1),$$
$$b_2 = 2\lambda_{32}q_1c_0 - c_0q_2(\lambda_{31}+\gamma_3) - 2\lambda_{31}(q_1^2 + 2q_0q_2), \quad b_1 = \lambda_{32}c_0(c_0+2q_0) - q_1[\lambda_{31}(c_0+4q_0) + c_0\gamma_3],$$
$$b_0 = -\lambda_{31}q_0(c_0+2q_0) - c_0^2\gamma_3.$$

Таким образом, в рассматриваемом случае задача сводится к решению алгебраического уравнения четвертой степени.

2°. Далее, если $\gamma_3 = 0 \quad (P_3 = 0)$, $\varepsilon_3 \neq 0$, $\varepsilon_3 \neq \frac{1}{2}$ и $\varepsilon_3 \neq 1$, то из уравнения (2) – (4) находим

$$\varepsilon_3 = \frac{\lambda_{32}\varepsilon_1}{\lambda_{31}}, \quad \varepsilon_4 = \frac{\gamma_4 - \lambda_{42}\varepsilon_3}{\gamma_{44}} = \frac{\lambda_{31}\gamma_4 - \lambda_{32}\lambda_{42}\varepsilon_1}{\lambda_{31}\gamma_{44}},$$
$$\varepsilon_2 = \frac{\gamma_2 + \lambda_{22}\varepsilon_4}{\gamma_{22}} = \frac{\lambda_{31}\gamma_2\gamma_{44} + \lambda_{22}\lambda_{31}\gamma_4 - \lambda_{22}\lambda_{32}\lambda_{42}\varepsilon_1}{\lambda_{31}\gamma_{22}\gamma_{44}}.$$

Подставляя эти выражения в уравнение (1) будем иметь

$$\xi_0 + \xi_1\varepsilon_1 + \xi_2\varepsilon_1^2 = 0,$$

$$\xi_2 = 2\lambda_{11}\lambda_{31}\gamma_{33}\gamma_{44}, \quad \xi_1 = \gamma_1\gamma_{22}\gamma_{44}(\lambda_{11} - \lambda_{31}) - \lambda_{12}\lambda_{22}\lambda_{32}\lambda_{42},$$
$$\xi_0 = \lambda_{12}\lambda_{31}(\gamma_2\gamma_{44} + \lambda_{22}\gamma_4) - \lambda_{31}\gamma_1\gamma_{22}\gamma_{44}.$$

Таким образом, задача в рассмотренном частном случае тоже сводится к решению алгебраического уравнения второй степени.

3°. При малых относительных деформациях, уравнения (4.9)–(4.12) принимают вид

$$\lambda_{12}\varepsilon_2 + (\lambda_{11} - \gamma_1)\varepsilon_1 = \gamma_1, \qquad -\lambda_{22}\varepsilon_4 + (\lambda_{21} - \gamma_2)\varepsilon_2 = \gamma_2,$$
$$\lambda_{32}\varepsilon_1 - (\lambda_{31} + \gamma_3)\varepsilon_3 = \gamma_3, \qquad \lambda_{42}\varepsilon_3 + (\lambda_{41} - \gamma_4)\varepsilon_4 = \gamma_4$$

$$\varepsilon_1 = \frac{(\lambda_{31}+\gamma_3)(\lambda_{41}-\gamma_4)\left[\gamma_1(\lambda_{21}-\gamma_2)-\lambda_{12}\gamma_2\right]-\lambda_{12}\lambda_{22}\left[\lambda_{42}\gamma_3+(\lambda_{31}+\gamma_3)\gamma_4\right]}{(\lambda_{11}-\gamma_1)(\lambda_{21}-\gamma_2)(\lambda_{31}+\gamma_3)(\lambda_{41}-\gamma_4)-\lambda_{12}\lambda_{22}\lambda_{32}\lambda_{42}},$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\lambda_{42}\lambda_{22}\left[\lambda_{32}\gamma_1-(\lambda_{11}-\gamma_1)\gamma_3\right]-(\lambda_{31}+\gamma_3)(\lambda_{11}-\gamma_1)\left[\gamma_2(\lambda_{41}-\gamma_4)+\lambda_{22}\gamma_4\right]}{\lambda_{12}\lambda_{22}\lambda_{32}\lambda_{42}-(\lambda_{11}-\gamma_1)(\lambda_{21}-\gamma_2)(\lambda_{31}+\gamma_3)(\lambda_{41}-\gamma_4)},$$

$$\varepsilon_3 = \frac{(\lambda_{21}-\gamma_2)(\lambda_{41}-\gamma_4)\left[\lambda_{32}\gamma_1-\gamma_3(\lambda_{11}-\gamma_1)\right]-\lambda_{12}\lambda_{32}\left[(\lambda_{41}-\gamma_4)\gamma_2+\lambda_{22}\gamma_4\right]}{(\lambda_{11}-\gamma_1)(\lambda_{21}-\gamma_2)(\lambda_{31}+\gamma_3)(\lambda_{41}-\gamma_4)-\lambda_{12}\lambda_{22}\lambda_{32}\lambda_{42}},$$

$$\varepsilon_4 = \frac{(\lambda_{31}+\gamma_3)(\lambda_{41}-\gamma_4)\left[\gamma_1(\lambda_{21}-\gamma_2)-\lambda_{12}\gamma_2\right]-\lambda_{12}\lambda_{22}\left[\lambda_{42}\gamma_3+(\lambda_{31}+\gamma_3)\gamma_4\right]}{(\lambda_{11}-\gamma_1)(\lambda_{21}-\gamma_2)(\lambda_{31}+\gamma_3)(\lambda_{41}-\gamma_4)-\lambda_{12}\lambda_{22}\lambda_{32}\lambda_{42}}.$$

Таким образом, если в приведенных выше уравнениях пренебречь величинами, содержащими второго и более высокого порядка малости, то удается получить аналитические выражения для установления значения искомых деформаций. Они могут быть применены для материала с относительно большой жесткостью.

Нерастяжимый материал ремня. В этом случае рассмотренные выше условия и уравнения движения ремня в стационарном режиме, принимают вид:

$$\dot{x}_{01}dt = \cos\varphi_{01}ds_{01}, \quad \dot{y}_{01}dt = -\sin\varphi_{01}ds_{01}; \quad \dot{x}_{02}dt = -\sin\varphi_{02}ds_{02}, \quad \dot{y}_{02}dt = \cos\varphi_{02}ds_{02};$$
$$\dot{x}_{03}dt = \sin\varphi_{03}ds_{03}, \quad \dot{y}_{03}dt = -\cos\varphi_{03}ds_{03}; \quad \dot{x}_{04}dt = -\cos\varphi_{04}ds_{04}, \quad \dot{y}_{04}dt = \sin\varphi_{04}ds_{04};$$
$$\rho_{01}F_{01}ds_{01}\left(\dot{x}_{01}-\dot{x}_{02}\right) = \left(T_{01}\cos\varphi_{01} + T_{02}\sin\varphi_{02} - R_{01}\cos\beta_{01} - fR_{01}\sin\beta_{01} + P_{01}\sin\beta_{01}\right)dt,$$
$$\rho_{01}F_{01}ds_{01}\left(\dot{y}_{01}-\dot{y}_{02}\right) = \left(-T_{01}\sin\varphi_{01} - T_{02}\cos\varphi_{02} + R_{01}\sin\beta_{01} - fR_{01}\cos\beta_{01} + P_{01}\cos\beta_{01}\right)dt;$$
$$\rho_{02}F_{02}ds_{02}\left(\dot{x}_{02}-\dot{x}_{04}\right) = \left(-T_{02}\sin\varphi_{02} + T_{04}\cos\varphi_{04} - R_{02}\cos\beta_{02} + fR_{02}\sin\beta_{02} - P_{02}\sin\beta_{02}\right)dt,$$
$$\rho_{02}F_{02}ds_{02}\left(\dot{y}_{02}-\dot{y}_{04}\right) = \left(T_{02}\cos\varphi_{02} - T_{04}\sin\varphi_{04} - R_{02}\sin\beta_{02} - fR_{02}\cos\beta_{02} + P_{02}\cos\beta_{02}\right)dt;$$
$$\rho_{03}F_{03}ds_{03}\left(\dot{x}_{03}-\dot{x}_{01}\right) = \left(T_{03}\sin\varphi_{03} - T_{01}\cos\varphi_{01} + R_{03}\cos\beta_{03} - fR_{03}\sin\beta_{03} + P_{03}\sin\beta_{03}\right)dt,$$
$$\rho_{03}F_{03}ds_{03}\left(\dot{y}_{03}-\dot{y}_{01}\right) = \left(-T_{03}\cos\varphi_{03} + T_{01}\sin\varphi_{01} + R_{03}\sin\beta_{03} + fR_{03}\cos\beta_{03} - P_{03}\cos\beta_{03}\right)dt;$$
$$\rho_{04}F_{04}ds_{04}\left(\dot{x}_{04}-\dot{x}_{03}\right) = \left(-T_{04}\cos\varphi_{04} - T_{03}\sin\varphi_{03} + R_{04}\cos\beta_{04} + fR_{04}\sin\beta_{04} - P_{04}\sin\beta_{04}\right)dt,$$
$$\rho_{04}F_{04}ds_{04}\left(\dot{y}_{04}-\dot{y}_{03}\right) = \left(T_{04}\sin\varphi_{04} + T_{03}\cos\varphi_{03} - R_{04}\sin\beta_{04} + fR_{04}\cos\beta_{04} - P_{04}\cos\beta_{04}\right)dt.$$

Последние уравнения легко привести к следующему виду

$$T_{01}\cos\varphi_{01} + T_{02}\sin\varphi_{02} - R_{01}\eta_{11} = A_1, \quad T_{01}\sin\varphi_{01} + T_{02}\cos\varphi_{02} - R_{01}\eta_{12} = A_2,$$
$$-T_{02}\sin\varphi_{02} + T_{04}\cos\varphi_{04} - R_{02}\eta_{21} = B_1, \quad T_{02}\cos\varphi_{02} - T_{04}\sin\varphi_{04} - R_{02}\eta_{22} = B_2,$$

$$T_{03}\sin\varphi_{03}-T_{01}\cos\varphi_{01}-R_{03}\eta_{31}=C_1,\quad T_{03}\cos\varphi_{03}-T_{01}\sin\varphi_{01}-R_{03}\eta_{32}=C_2,$$
$$T_{04}\cos\varphi_{04}+T_{03}\sin\varphi_{03}-R_{04}\eta_{41}=D_1,\quad T_{04}\sin\varphi_{04}+T_{03}\cos\varphi_{03}-R_{04}\eta_{42}=D_2,$$

где

$$\eta_{11}=\cos\beta_{01}+f\sin\beta_{01},\quad \eta_{12}=\sin\beta_{01}-f\cos\beta_{01},\quad \eta_{21}=\cos\beta_{02}-f\sin\beta_{02},$$
$$\eta_{22}=\sin\beta_{02}+f\cos\beta_{02},\quad \eta_{31}=-\cos\beta_{03}+f\sin\beta_{03},\quad \eta_{32}=\sin\beta_{03}+f\cos\beta_{03},$$
$$\eta_{41}=\cos\beta_{04}+f\sin\beta_{04},\quad \eta_{42}=\sin\beta_{04}-f\cos\beta_{04},$$
$$A_1=\rho_{00}F_{00}u_0^2(\cos\varphi_{01}+\sin\varphi_{02})-P_{01}\sin\beta_{01},\quad A_2=\rho_{00}F_{00}u_0^2(\sin\varphi_{01}+\cos\varphi_{02})+P_{01}\cos\beta_{01},$$
$$B_1=\rho_{00}F_{00}u_0^2(\cos\varphi_{04}-\sin\varphi_{02})+P_{02}\sin\beta_{02},\quad B_2=\rho_{00}F_{00}u_0^2(\cos\varphi_{02}-\sin\varphi_{04})-P_{02}\cos\beta_{02},$$
$$C_1=\rho_{00}F_{00}u_0^2(\sin\varphi_{03}-\cos\varphi_{01})-P_{03}\sin\beta_{03},\quad C_2=\rho_{00}F_{00}u_0^2(\cos\varphi_{03}-\sin\varphi_{01})-P_{03}\cos\beta_{03},$$
$$D_1=\rho_{00}F_{00}u_0^2(\cos\varphi_{04}+\sin\varphi_{03})-P_{04}\sin\beta_{04},\quad D_2=\rho_{00}F_{00}u_0^2(\sin\varphi_{04}+\cos\varphi_{03})+P_{04}\cos\beta_{04}.$$

Отсюда, исключая неизвестные силы R_{0i}, найдем

$$T_{01}(\eta_{12}\cos\varphi_{01}-\eta_{11}\sin\varphi_{01})+T_{02}(\eta_{12}\sin\varphi_{02}-\eta_{11}\cos\varphi_{02})=A_1\eta_{12}-A_2\eta_{11}.$$
$$-T_{02}(\eta_{22}\sin\varphi_{02}+\eta_{21}\cos\varphi_{02})+T_{04}(\eta_{22}\cos\varphi_{04}+\eta_{21}\sin\varphi_{04})=B_1\eta_{22}-B_2\eta_{21}.$$
$$T_{03}(\eta_{32}\sin\varphi_{03}-\eta_{31}\cos\varphi_{03})-T_{01}(\eta_{32}\cos\varphi_{01}-\eta_{31}\sin\varphi_{01})=C_1\eta_{32}-C_2\eta_{31}.$$
$$T_{04}(\eta_{42}\cos\varphi_{04}-\eta_{41}\sin\varphi_{04})+T_{03}(\eta_{42}\sin\varphi_{03}-\eta_{41}\cos\varphi_{03})=D_1\eta_{42}-D_2\eta_{41}.$$

Введем обозначения

$$\alpha_{11}=\eta_{12}\cos\varphi_{01}-\eta_{11}\sin\varphi_{01},\quad \alpha_{12}=\eta_{12}\sin\varphi_{02}-\eta_{11}\cos\varphi_{02},\quad A=A_1\eta_{12}-A_2\eta_{11},$$
$$\alpha_{21}=-\eta_{22}\sin\varphi_{02}-\eta_{21}\cos\varphi_{02},\quad \alpha_{22}=\eta_{22}\cos\varphi_{04}+\eta_{21}\sin\varphi_{04},\quad B=B_1\eta_{22}-B_2\eta_{21},$$
$$\alpha_{31}=-\eta_{32}\cos\varphi_{01}+\eta_{31}\sin\varphi_{01},\quad \alpha_{32}=\eta_{32}\sin\varphi_{03}-\eta_{31}\cos\varphi_{03},\quad C=C_1\eta_{32}-C_2\eta_{31},$$
$$\alpha_{41}=\eta_{42}\cos\varphi_{04}-\eta_{41}\sin\varphi_{04},\quad \alpha_{42}=\eta_{42}\sin\varphi_{03}-\eta_{41}\cos\varphi_{03},\quad D=D_1\eta_{42}-D_2\eta_{41}.$$

Тогда последние уравнения принимают вид

$$T_{01}\alpha_{11}+T_{02}\alpha_{12}=A,\quad T_{02}\alpha_{21}+T_{04}\alpha_{22}=B,$$
$$T_{01}\alpha_{31}+T_{03}\alpha_{32}=C,\quad T_{04}\alpha_{41}+T_{03}\alpha_{42}=D.$$

Отсюда найдем следующие выражения для установления зависимости натяжения рассматриваемых ветвей ремня от свойства материала ремня, конструктивных параметров и скорости вращения механизма

$$T_{01}=\frac{(A\alpha_{21}-B\alpha_{12})\alpha_{41}\alpha_{32}-(C\alpha_{42}-D\alpha_{32})\alpha_{22}\alpha_{12}}{\alpha_{11}\alpha_{21}\alpha_{41}\alpha_{32}-\alpha_{31}\alpha_{42}\alpha_{22}\alpha_{12}},$$

$$T_{02}=\frac{A}{\alpha_{12}}-\frac{\alpha_{11}}{\alpha_{12}}\frac{(A\alpha_{21}-B\alpha_{12})\alpha_{41}\alpha_{32}-(C\alpha_{42}-D\alpha_{32})\alpha_{22}\alpha_{12}}{\alpha_{11}\alpha_{21}\alpha_{41}\alpha_{32}-\alpha_{31}\alpha_{42}\alpha_{22}\alpha_{12}},$$

$$T_{03}=\frac{D}{\alpha_{42}}-\frac{\alpha_{41}}{\alpha_{42}}\frac{(A\alpha_{21}-B\alpha_{12})\alpha_{31}\alpha_{42}-(C\alpha_{42}-D\alpha_{32})\alpha_{11}\alpha_{21}}{-\alpha_{22}\alpha_{12}\alpha_{31}\alpha_{42}+\alpha_{41}\alpha_{32}\alpha_{11}\alpha_{21}},$$

$$T_{04}=\frac{(A\alpha_{21}-B\alpha_{12})\alpha_{31}\alpha_{42}-(C\alpha_{42}-D\alpha_{32})\alpha_{11}\alpha_{21}}{-\alpha_{22}\alpha_{12}\alpha_{31}\alpha_{42}+\alpha_{41}\alpha_{32}\alpha_{11}\alpha_{21}}.$$

При этом, неизвестные силы R_{0i} удовлетворяют следующие равенства

$$R_{01}=\frac{T_{01}\cos(\varphi_{01}+\varphi_{20})-A_1\cos\varphi_{02}+A_2\sin\varphi_{02}}{\eta_{11}\cos\varphi_{02}-\eta_{12}\sin\varphi_{02}}.$$

$$R_{02}=\frac{-T_{02}\cos(\varphi_{02}-\varphi_{04})-B_1\sin\varphi_{04}-B_2\cos\varphi_{04}}{\eta_{21}\sin\varphi_{04}+\eta_{22}\cos\varphi_{04}}.$$

$$R_{03}=\frac{-T_{03}\cos(\varphi_{01}+\varphi_{30})-C_1\sin\varphi_{01}+C_2\cos\varphi_{01}}{\eta_{31}\sin\varphi_{01}-\eta_{32}\cos\varphi_{01}}.$$

$$R_{04}=\frac{T_{04}\cos(\varphi_{03}+\varphi_{04})-D_1\cos\varphi_{03}+D_2\sin\varphi_{03}}{\eta_{41}\cos\varphi_{03}-\eta_{42}\sin\varphi_{03}}.$$

Проведенные численно-экспериментальные исследования показали, что между натяжениями T_{0i} ветвей ремня можно установить линейные зависимости следующего вида $T_{02}=\lambda_{24}T_{04}$, $T_{04}=\lambda_{34}T_{03}$, $T_{03}=\lambda_{31}T_{01}$. При исходных значениях: $f=0.3$, $p_{0i}=0$; $\varphi_{01}=6^\circ$; $\varphi_{02}=8^\circ$; $\varphi_{03}=10^\circ$; $\varphi_{04}=12^\circ$ и возрастании скорости вращения в пределах $u=10\div16\ \frac{м}{с}$, значения коэффициентов λ возрастают в пределах: $\lambda_{24}=1.09\div1.19$; $\lambda_{34}=1.06\div1.14$; $\lambda_{31}=1.02\div1.07$.

Неподвижный механизм. Найдем установочные - начальные натяжения ремня. Условия равновесия ремня получаются из уравнения закона сохранения количества движения:

– на поверхности первого шкива

– на поверхности первого шкива

$$T_{001}\cos\varphi_{001} + T_{002}\sin\varphi_{002} - R_{001}(\cos\beta_{001} + f\sin\beta_{001}) = -P_{001}\sin\beta_{001},$$

$$T_{001}\sin\varphi_{001} + T_{002}\cos\varphi_{002} - R_{001}(\sin\beta_{001} - f\cos\beta_{001}) = P_{001}\cos\beta_{001};$$

– на поверхности второго шкива

$$-T_{002}\sin\varphi_{002} + T_{004}\cos\varphi_{004} - R_{002}(\cos\beta_{002} - f\sin\beta_{002}) = P_{002}\sin\beta_{002},$$

$$T_{002}\cos\varphi_{002} - T_{004}\sin\varphi_{004} - R_{002}(\sin\beta_{002} + f\cos\beta_{002}) = -P_{002}\cos\beta_{002};$$

– на поверхности третьего шкива

$$T_{003}\sin\varphi_{003} - T_{001}\cos\varphi_{001} - R_{003}(-\cos\beta_{003} + f\sin\beta_{003}) = -P_{003}\sin\beta_{003},$$

$$T_{003}\cos\varphi_{003} - T_{001}\sin\varphi_{001} - R_{003}(\sin\beta_{003} + f\cos\beta_{003}) = -P_{003}\cos\beta_{003};$$

– на поверхности четвертого шкива

$$T_{004}\cos\varphi_{004} + T_{003}\sin\varphi_{003} - R_{004}(\cos\beta_{004} + f\sin\beta_{004}) = -P_{004}\sin\beta_{004},$$

$$T_{004}\sin\varphi_{004} + T_{003}\cos\varphi_{003} - R_{004}(\sin\beta_{004} - f\cos\beta_{004}) = P_{004}\cos\beta_{004}.$$

Введем обозначения:

$$M_1 = -P_{001}\sin\beta_{001}, \quad M_2 = P_{001}\cos\beta_{001}; \quad N_1 = P_{002}\sin\beta_{002}, \quad N_2 = -P_{002}\cos\beta_{002};$$

$$K_1 = -P_{003}\sin\beta_{003}, \quad K_2 = -P_{003}\cos\beta_{003}; \quad E_1 = -P_{004}\sin\beta_{004}, \quad E_2 = P_{004}\cos\beta_{004};$$

$$\eta_{11} = \cos\beta_{001} + f\sin\beta_{001}, \quad \eta_{12} = \sin\beta_{001} - f\cos\beta_{001}, \quad \eta_{21} = \cos\beta_{002} - f\sin\beta_{002},$$

$$\eta_{22} = \sin\beta_{002} + f\cos\beta_{002}, \quad \eta_{31} = -\cos\beta_{003} + f\sin\beta_{003}, \quad \eta_{32} = \sin\beta_{003} + f\cos\beta_{003},$$

$$\eta_{41} = \cos\beta_{004} + f\sin\beta_{004}, \quad \eta_{42} = \sin\beta_{004} - f\cos\beta_{004}.$$

Тогда последние уравнения принимают вид:

$$T_{001}\cos\varphi_{001} + T_{002}\sin\varphi_{002} - R_{001}\eta_{11} = M_1; \qquad T_{001}\sin\varphi_{001} + T_{002}\cos\varphi_{002} - R_{001}\eta_{12} = M_2;$$

$$-T_{002}\sin\varphi_{002} + T_{004}\cos\varphi_{004} - R_{002}\eta_{21} = N_1; \qquad T_{002}\cos\varphi_{002} - T_{004}\sin\varphi_{004} - R_{002}\eta_{22} = N_2;$$

$$T_{003}\sin\varphi_{003} - T_{001}\cos\varphi_{001} - R_{003}\eta_{31} = K_1, \qquad T_{003}\cos\varphi_{003} - T_{001}\sin\varphi_{001} - R_{003}\eta_{32} = K_2;$$

$$T_{004}\cos\varphi_{004} + T_{003}\sin\varphi_{003} - R_{004}\eta_{41} = E_1, \qquad T_{004}\sin\varphi_{004} + T_{003}\cos\varphi_{003} - R_{004}\eta_{42} = E_2.$$

Исключая неизвестные реактивные силы, получаем

$$T_{001}(\eta_{12}\cos\varphi_{001} - \eta_{11}\sin\varphi_{001}) + T_{002}(\eta_{12}\sin\varphi_{002} - \eta_{11}\cos\varphi_{002}) = M_1\eta_{12} - M_2\eta_{11},$$

$$-T_{002}(\eta_{22}\sin\varphi_{002} + \eta_{21}\cos\varphi_{002}) + T_{004}(\eta_{22}\cos\varphi_{004} + \eta_{21}\sin\varphi_{004}) = N_1\eta_{22} - N_2\eta_{21},$$

$$T_{003}(\eta_{32}\sin\varphi_{003} - \eta_{31}\cos\varphi_{003}) - T_{001}(\eta_{32}\cos\varphi_{001} - \eta_{31}\sin\varphi_{001}) = K_1\eta_{32} - K_2\eta_{31},$$

$$T_{004}(\eta_{42}\cos\varphi_{004} - \eta_{41}\sin\varphi_{004}) + T_{003}(\eta_{42}\sin\varphi_{003} - \eta_{41}\cos\varphi_{003}) = E_1\eta_{42} - E_2\eta_{41}.$$

Обозначим

$$M = M_1\eta_{12} - M_2\eta_{11}, \; N = N_1\eta_{22} - N_2\eta_{21}, \; K = K_1\eta_{32} - K_2\eta_{31}, \quad E = E_1\eta_{42} - E_2\eta_{41},$$

$$\alpha_{11} = \eta_{12}\cos\varphi_{001} - \eta_{11}\sin\varphi_{001}, \quad \alpha_{12} = \eta_{12}\sin\varphi_{002} - \eta_{11}\cos\varphi_{002},$$

$$\alpha_{21} = -\eta_{22}\sin\varphi_{002} - \eta_{21}\cos\varphi_{002}, \quad \alpha_{22} = \eta_{22}\cos\varphi_{004} + \eta_{21}\sin\varphi_{004},$$

$$\alpha_{31} = -\eta_{32}\cos\varphi_{001} + \eta_{31}\sin\varphi_{001}, \quad \alpha_{32} = \eta_{32}\sin\varphi_{003} - \eta_{31}\cos\varphi_{003},$$

$$\alpha_{41} = \eta_{42}\cos\varphi_{004} - \eta_{41}\sin\varphi_{004}, \quad \alpha_{42} = \eta_{42}\sin\varphi_{003} - \eta_{41}\cos\varphi_{003}.$$

Используя эти обозначения, уравнения рассматриваемые уравнения представим в виде

$$T_{001}\alpha_{11} + T_{002}\alpha_{12} = M, \; T_{002}\alpha_{21} + T_{004}\alpha_{22} = N, \quad T_{001}\alpha_{31} + T_{003}\alpha_{32} = K, \quad T_{004}\alpha_{41} + T_{003}\alpha_{42} = E.$$

Отсюда

$$T_{001} = \frac{(M\alpha_{21} - N\alpha_{12})\alpha_{41}\alpha_{32} - (K\alpha_{42} - E\alpha_{32})\alpha_{22}\alpha_{12}}{\alpha_{11}\alpha_{21}\alpha_{41}\alpha_{32} - \alpha_{31}\alpha_{42}\alpha_{22}\alpha_{12}},$$

$$T_{002} = \frac{M}{\alpha_{12}} - \frac{\alpha_{11}}{\alpha_{12}} \frac{(M\alpha_{21} - N\alpha_{12})\alpha_{41}\alpha_{32} - (K\alpha_{42} - E\alpha_{32})\alpha_{22}\alpha_{12}}{\alpha_{11}\alpha_{21}\alpha_{41}\alpha_{32} - \alpha_{31}\alpha_{42}\alpha_{22}\alpha_{12}},$$

$$T_{003} = \frac{E}{\alpha_{42}} - \frac{\alpha_{41}}{\alpha_{42}} \frac{(M\alpha_{21} - N\alpha_{12})\alpha_{31}\alpha_{42} - (K\alpha_{42} - E\alpha_{32})\alpha_{11}\alpha_{21}}{-\alpha_{22}\alpha_{12}\alpha_{31}\alpha_{42} + \alpha_{41}\alpha_{32}\alpha_{11}\alpha_{21}},$$

$$T_{004} = \frac{(M\alpha_{21} - N\alpha_{12})\alpha_{31}\alpha_{42} - (K\alpha_{42} - E\alpha_{32})\alpha_{11}\alpha_{21}}{-\alpha_{22}\alpha_{12}\alpha_{31}\alpha_{42} + \alpha_{41}\alpha_{32}\alpha_{11}\alpha_{21}}.$$

Неизвестные силы R_{00i} определяются из предыдущих уравнений

$$R_{001} = \frac{T_{001}\cos(\varphi_{001} + \varphi_{002}) - M_1\cos\varphi_{002} + M_2\sin\varphi_{002}}{\eta_{11}\cos\varphi_{002} - \eta_{12}\sin\varphi_{002}},$$

$$R_{002} = \frac{-T_{002}\cos(\varphi_{002} - \varphi_{004}) - N_1\sin\varphi_{004} - N_2\cos\varphi_{004}}{\eta_{21}\sin\varphi_{004} + \eta_{22}\cos\varphi_{004}},$$

$$R_{003} = \frac{-T_{003}\cos(\varphi_{001} + \varphi_{003}) - K_1\sin\varphi_{001} + K_2\cos\varphi_{001}}{\eta_{31}\sin\varphi_{001} - \eta_{32}\cos\varphi_{001}},$$

$$R_{004} = \frac{T_{004}\cos(\varphi_{003} + \varphi_{004}) - E_1\cos\varphi_{003} + E_2\sin\varphi_{003}}{\;}.$$

Полученное для случая растяжимого материла решения позволяют устанавливать зависимости начальных текущих и начальных натяжений стационарного движения ремня от свойства материала, конструкционных параметров заданного механизма и внешней силы натяга. С помощью полученных выражений можно вести поиск рациональных значений начальных натяжений и закона распределения натяжения ветвей ремня. Очевидно, что наиболее рациональным является случай, когда значения натяжения всех ветвей будут наиболее близкими.

ВЫВОДЫ

Полученные решения могут быть использованы при проектирования новых и прогнозирования рациональных конструктивных и технологических параметров заданных механизмов передачи, выявления причин появления и мер устранения различных пороков, возникающих при работе механизмов передачи и технологических машин.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого тела. М.: Наука, 1988. 712 с.
2. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. М.: Машиностроение, 1987. 336 с.
3. Вейц В.Л., Кочура А.Е., Мартиненко А.М. Динамические расчеты приводов машин. Л.: Машиностроение, 1970. 212 с.
4. Воробьев И.И. Ременные передачи. М.: Машиностроение, 1979. 168 с.
5. Вейц В.Л., Динамика машинных агрегатов. Л.: Машиностроение. 1969. 368 с.
6. Эргашов М. Баймуратов Б.Х. Дремова Н.В. Нуруллаева Х.Т. Юсупова З.Р. Моделирование сложного передаточного механизма с растяжимым или

нерастяжимым ремнем/ CONGRESS PROGRAM (online) May 10-11, 2022. Tashkent. / Meeting ID: 844 1438 6914. Passcode: 001001.

7. Эргашов М., Дремова Н.В. Нуруллаева Х.Т. Методика установления зависимости напряженного состояния ремня от конструктивных параметров передаточного механизма. U55 Universum: технические науки: научный журнал. – № 6(99). Часть 4. М., Изд. «МЦНО», 2022. – 72 с.

8. Эргашов М. Исследование процессов распространения упругих волн в намоточных связях при учете эффектов их вращения при растяжении// Изв. АН России. ПММ. Т. 56. 1992. Вып. 1. С. 117-124.

9. Эргашов М., Максудов Р.Х., Усманкулов А. К. Теория расчета натяжения передаточного механизма. Ташкент, Фан. 2004. 257 с.

10. Эргашов М. Султонов Д. З., Каримов Н.А., Салимова М.М. Об одном методе расчета натяжения ремня передаточного механизма// Вестник ТашГТУ. 2002. № 2. С. 13-19.

11. Махаммадрасул, Э., Дремова, Н. В., Нуруллаева, Х. Т. (2021). Методика оценки влияния взаимодействия и отражения продольных волн от поверхности рабочего органа. Universum: технические науки, (5-3 (86)), 50-53.

12. Эргашов М., Максудов Р.Х., Усманкулов А. К. Теория расчета натяжения передаточного механизма. Ташкент, Фан. 2004. 265 с.

13. Максудов Р.Х., Эргашов М., Методы исследования натяжения ремня приводных механизмов технологических машин. Т.: Фан. 2009. 355 с.

14. Эргашов М., Максудов Р.Х., Мухамедсаидов Б.К., Даминова Р.Б., Якубова И.Ж. Программа-04 проектирования начальных параметров ленточного передаточного механизма с двумя внутренними и двумя наружными шкивами. ГАС АИС РУЗ. Авторское сведетельство. № DGU 02212. 03.10.2011.

15. Эргашов, М., Дремова, Н. В., Нуруллаева, Х. Т., & Ахунбабаев, О. А. (2022). Расчет зависимости напряженного состояния материала ремня от конструктивных параметров передачи и силы сопротивления технологических машин. European Journal of Interdisciplinary Research and Development, 7, 50-67.