

### ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШАРИКО-ВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ МОМЕНТА ХОЛОСТОГО ХОДА

Расширение области использования шарико-винтовых механизмов (ШВМ) требует дальнейшего исследования теоретических вопросов, связанных с неравномерностью работы этих передач. Неравномерность можно оценить, исследуя изменение момента холостого хода передачи с предварительным натягом. Эти исследования следует выполнять при сравнительно медленном вращении винта, чтобы исключить влияние момента инерции на изменение момента холостого хода. Мерой неплывности работы ШВМ может служить коэффициент неравномерности момента, показывающий отклонение момента холостого хода от средней величины:

$$\Delta M = \frac{M_{\max} - M_{\text{ср}}}{M_{\text{ср}}} = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\max} + M_{\min}}, \quad (1)$$

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_{\max} + M_{\min}}{2}; \quad M_{\max}, M_{\min} - \text{наибольшее и наименьшее значения}$$

момента, измеренного на всей длине винта.

Известна формула для определения момента холостого хода при равномерном движении передачи [1]:

$$M_x = z P_{\text{нат}} \sin \alpha [\sin(\lambda + \rho) - \sin(\lambda - \rho)] \frac{d_{\text{КВ}}}{2}, \quad (2)$$

соответствующая некоторой теоретической модели передачи, выполненной идеально точно и имеющей предварительный натяг. Равнодействующий момент холостого хода  $M_x$  равен разности моментов двух гаек, действующих на винт в результате создания предварительного натяга (при полукруглом профиле резьбы), или разности моментов, действующих на винт со стороны двух беговых дорожек при арочном профиле. Формулу (2) можно записать следующим образом:

$$M_x = z(M_1 - M_2) = zM_e, \quad (3)$$

где  $M_e$  — единичный момент холостого хода;  $M_1 = P_{\text{нат}} \sin \alpha \sin(\lambda + \rho) \frac{d_{\text{КВ}}}{2}$  — единичный момент сопротивления в рабочей гайке или на рабочей дорожке качения при арочном профиле;  $M_2 = P_{\text{нат}} \sin \alpha \sin(\lambda - \rho) \frac{d_{\text{КВ}}}{2}$  — единичный

момент во вспомогательной гайке или на вспомогательной беговой дорожке при арочном профиле.

Момент, определяемый по формуле (3), не зависит от угла поворота винта  $\varphi$  (рис. 1). В действительности этот момент изменяется, когда отдельные шарики входят в натяг либо выходят из натяга в канал возврата. Характер изменения момента зависит от длины рабочего участка резьбы, от диаметра шарика и других конструктивных параметров. Можно выделить три различных варианта входа и выхода шариков из натяга в зависимости от длины рабочего участка резьбы гайки и диаметра шариков (рис. 2).

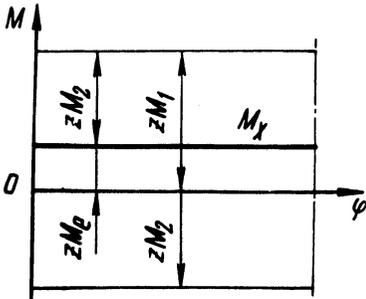


Рис. 1. Зависимость момента холостого хода  $M_x$  от угла поворота винта  $\varphi$ , полученная в соответствии с формулами (2) и (3).

Во-первых, на длине рабочего участка резьбы и зон входа и выхода шариков из натяга ( $l_1$ ) укладывается целое число шариков (рис. 2, а). При этом в одной из гайек момент вхождения шариков в натяг в общем случае не совпадает по времени с моментом вхождения в натяг шариков во второй гайке. Это несовпадение определяется углом фазового смещения  $\varphi_F$ . Момент  $z M_1$  и  $z M_2$  каждой из гайек изменяется с периодом, равным  $\theta$  и определяющим время, за которое шарик пройдет длину, равную его диаметру  $d$ . Как следует из рис. 3,  $M_{\max} = z M_e + M_2$ ,  $M_{\min} = z M_e - M_1$ . Подставляя в (1) значение  $M_{\max}$  и  $M_{\min}$  и используя формулу (3), получаем

$$\Delta M = \operatorname{tg} \lambda \operatorname{ctg} \rho \frac{1}{2z - 1} . \quad (5)$$

Когда шарики входят в натяг одновременно ( $\varphi_F = 0$ ) или применяется одна гайка с арочным профилем резьбы, коэффициент неравномерности момента во много раз меньше и равен

$$\Delta M = \frac{1}{2z - 1} . \quad (6)$$

Во-вторых, длина рабочего участка такая, что во время входа в натяг одного шарика одновременно выходит из натяга другой шарик (рис. 2, б). В зависимости от вида функции  $M_1(\varphi)$  и  $M_2(\varphi)$  в момент входа и выхода шариков суммарный момент  $M_1(\varphi) + M_1'(\varphi) \approx \operatorname{const}$ , и  $M_2(\varphi) + M_2'(\varphi) \approx$

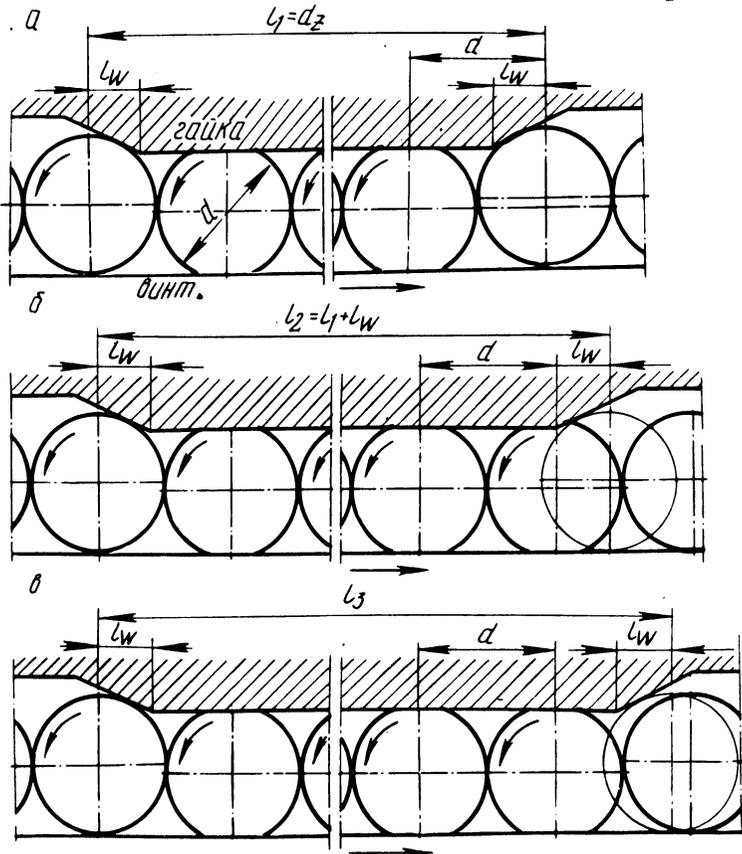
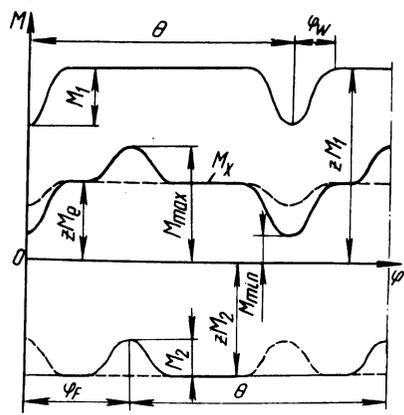


Рис. 2. Особенности длины рабочего участка резьбы:

а -  $\frac{L_1}{d}$  - равно целому числу; б - длина  $l_2 = zd + l_w$ ; в -  $l_2 < 3 < (l_1 + d)$ ;  $l_w$  - длина зоны входа и выхода шариков из натяга.

Рис. 3. Зависимость момента холостого хода  $M_x$  при длине рабочего участка резьбы  $l_1$  от угла поворота винта  $\varphi$ :

сплошная линия при  $\varphi_F \neq 0$  и  $\varphi_F \geq \varphi_w$ , штриховая при  $\varphi_F = 0$ ;  $\varphi_w$  - угол поворота винта, при котором шарик войдет в натяг или выйдет из натяга (на длине  $l_w$ ).



$\approx \text{const}$ . Здесь  $M_1(\varphi), M_2(\varphi)$  – момент сопротивления входу шарика в натяг в гайке 1 и 2.  $M'_1(\varphi), M'_2(\varphi)$  – момент сопротивления выходу шарика из натяга в гайке 1 и 2. В этом случае  $\Delta M \approx 0$  независимо от угла  $\varphi_F$  (рис.4).

В-третьих, если  $L_3 > L_2, L_3 < (l_1 + d)$  и  $\varphi_W < \varphi_F < (\theta - 2\varphi_W)$ , а также если в одной гайке в некоторый момент движения находится на один шарик больше, чем в другой (рис. 5), то

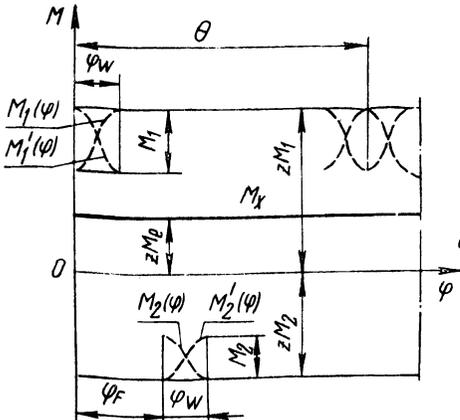


Рис. 4. Зависимость момента холостого хода  $M_x$  при длине рабочего участка резьбы  $l_2$  от угла поворота винта  $\varphi$ .

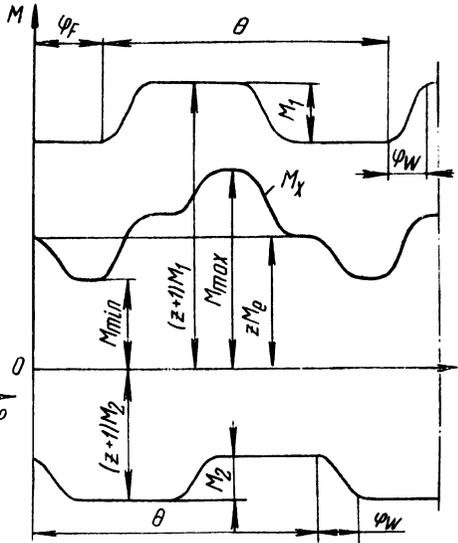


Рис. 5. Зависимость момента холостого хода  $M_x$  при длине рабочего участка резьбы, равной  $l_3$  ( $\varphi_F \neq 0; \varphi_W \leq \varphi_F \leq (\theta - 2\varphi_W)$ ) от угла поворота винта  $\varphi$ .

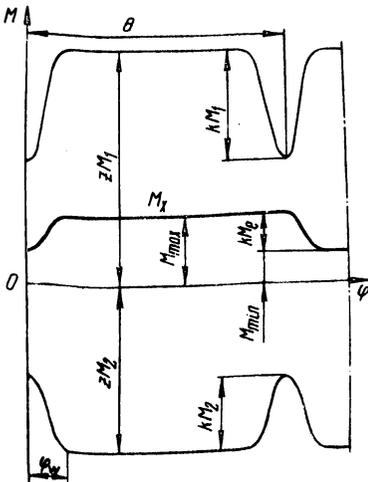


Рис. 6. Зависимость момента холостого хода  $M_x$  передачи с  $k$  замкнутыми цепочками шариков от угла поворота винта  $\varphi$  при  $\varphi_F = 0$ .

$$\left. \begin{aligned} M_{\max} &= (z + 1)M_1 - zM_2 = zM_e + M_1, \\ M_{\min} &= zM_e - M_2, \\ \Delta M &= \operatorname{tg} \lambda \operatorname{ctg} \rho \frac{1}{2z + 1} . \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Анализ влияния количества независимых замкнутых цепочек шариков в передаче ( $k > 1$ ) выполнен на примере передачи, в которой количество шариков в каждой цепочке одинаково. Тогда

$$z = kz_k, \quad (8)$$

где  $k$  — количество замкнутых цепочек;  $z_k$  — количество шариков в одной цепочке.

Рассматривая случай, когда длина рабочего участка равна  $l_1$ , и принимая, что в каждой цепочке шарики одновременно входят в натяг (рис. 6), при  $\varphi_F = 0$  получим  $M_{\max} = zM_e$ ,  $M_{\min} = zM_e - kM_e$ . Подставляя в (1) значения  $M_{\max}$  и  $M_{\min}$  и используя формулу (3), находим

$$\Delta M = \frac{k}{2z - k} . \quad (9)$$

Анализ, выполненный в [2], показал, что большое влияние на колебание момента холостого хода оказывает зазор между шариками в рабочей зоне. В этом случае коэффициент неравномерности момента при длине рабочего участка, равной  $l_3$ , определится из формулы

$$\Delta M = \operatorname{tg} \lambda \operatorname{ctg} \rho \frac{k}{z_k} . \quad (10)$$

Установлено [2], что отклонение коэффициента неравномерности от средней величины достигает  $\pm 10\%$  и более. Такие колебания момента могут оказывать большие влияния на плавность работы ШВМ, а сам механизм может быть забракован по этому параметру.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л е в и н Г.А. Расчет передач винт-гайка качения (шариковых). — Станки и инструмент, 1963, № 6. 2. S o b o l e w s k i J. Analiza nierównomierności pracy przekładni kulkowych śrubowych z obiegim zewnętrznym. Praca dokt. — Warszawa, 1977.