

### ВЛИЯНИЕ СХЕМ НАГРУЖЕНИЯ НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ МОМЕНТА ХОЛОСТОГО ХОДА ШАРИКО-ВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Проблема распределения нагрузки по виткам резьбы шарико-винтовых механизмов (ШВМ) была проанализирована в работах [1, 2]. Однако до настоящего времени не известны исследования по определению влияния неравномерного распределения нагрузки на плавность работы этих механизмов. Рассмотрим данный вопрос на примере передачи с одним каналом возврата шариков, полукруглым и арочным профилем резьбы, собранной предварительным натягом. Известны формулы, определяющие распределение нагрузки по виткам резьбы в зависимости от схем нагружения гайки [1, 2]. Средняя нагрузка, приходящаяся на один виток  $Q_i$ , при равномерном распределении равна  $\frac{Q}{k}$ , где  $k$  — количество витков. В случае неравномерного распределения нагрузки для дальнейшего анализа был введен коэффициент пропорциональности  $\gamma_i$  [3], соответствующий определенному закону распределения нагрузки:  $Q_i = \frac{Q}{k} \gamma_i$ , откуда  $\gamma_i = \frac{Q_i}{Q} k$ , (1)

где  $Q = \sum_{i=1}^{i=k} Q_i$ .

При движении винта вправо (прямоугольный профиль) шарики перемещаются в канале возврата в направлении, указанном стрелками (рис.1) и при входе в натяг или при выходе из натяга воспринимают различные нагрузки, величина которых зависит от положения устройств возврата относительно точек О. С учетом неравномерности распределения нагрузки величины единичных моментов сопротивления (для одного шарика) определяются по формуле  $\gamma_i M_{1,2}$ , где  $M_1, M_2$  соответственно момент в рабочей  $\Gamma_1$  и вспомогательной гайках  $\Gamma_2$  [3].

Величины единичных моментов входа и выхода шариков из натяга указаны в табл. 1.

Таблица 1

Номер гайки		$\Gamma_1$	$\Gamma_2$
Момент	вхождения в натяг	$\gamma_k M_1$	$\gamma_1 M_2$
	выхода из натяга	$\gamma_1 M_1$	$\gamma_k M_2$

Рис. 1. Схемы нагружения и графики распределения нагрузки по виткам резьбы ШВМ:

1 – гайки сжаты; 2 – гайки растянуты.

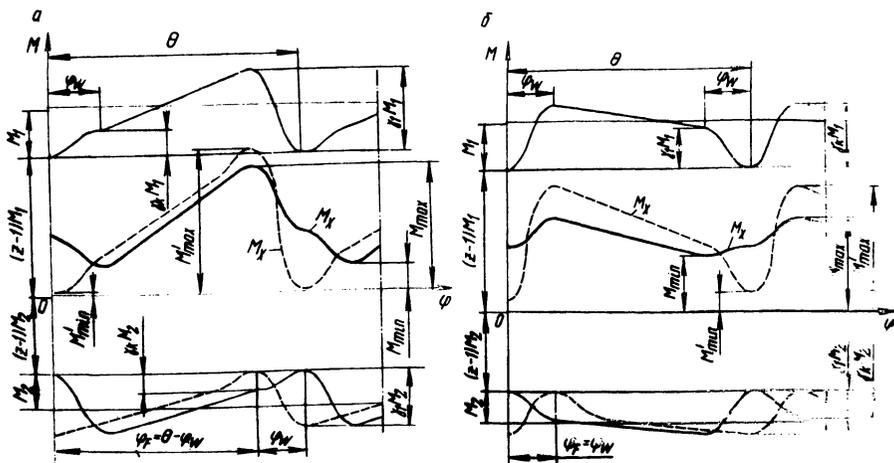
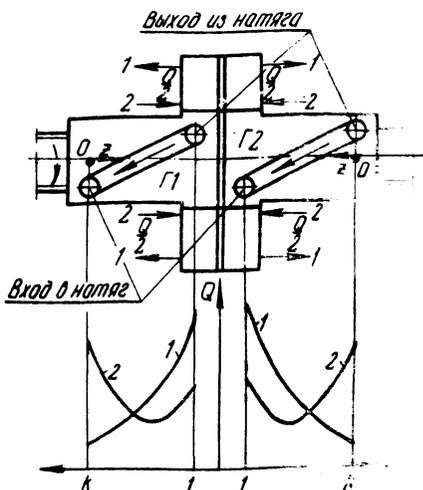


Рис. 2. Момент холостого хода  $M_x$  в случае сжатых (а) и растянутых (б) гаек:

сплошные линии при  $\varphi_F = 0$ , штриховые линии при  $\varphi_F \neq 0$ ;  $\theta$  – угол поворота винта, при котором шарик перекачивается на длину, равную его диаметру,  $\varphi_W$  – угол поворота винта, при котором шарик войдет в натяг или выйдет из натяга.

Анализ изменения момента холостого хода будет выполнен на примере передач с наружным каналом возврата шариков, с гайками при длине рабочего участка резьбы, равной многократному диаметру шарика (при условии отсутствия зазора между шариками).

В случае сжатых гаек с полукруглым профилем резьбы при угле фазового смещения  $\varphi_F = 0$  максимальное и минимальное значения момента холостого хода (рис. 2, а) определяется по формулам

$$M_{\max} = (z - 1)M_1 + \gamma_1 M_1 - [(z - 1)M_2 + \gamma_k M_2],$$

$$M_{\min} = (z - 1)M_1 + \gamma_k M_1 - [(z - 1)M_2 + \gamma_1 M_2].$$

Тогда при  $\gamma_1 \neq \gamma_k$  коэффициент неравномерности момента  $M_x$  будет равен

$$\Delta M = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\max} + M_{\min}} = \operatorname{tg} \lambda \operatorname{ctg} \rho \frac{\gamma_1 - \gamma_k}{2(z - 1) + \gamma_1 + \gamma_k}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  — угол подъема резьбы винта;  $\rho$  — угол трения качения;  $z$  — количество шариков в рабочей зоне гайки.

В общем случае в одной из гаек момент входа шариков в натяг не совпадает по времени с моментом входа в натяг шариков во второй гайке. Наибольшее колебание момента будет наблюдаться при угле фазового смещения  $\varphi_F = \theta - \varphi_W$ . При этом  $M'_{\max} = (z - 1)M_1 + \gamma_1 M_1 - (z - 1)M_2$ ,  $M'_{\min} = (z - 1)M_1 - [(z - 1)M_2 + \gamma_1 M_2]$ , а коэффициент неравномерности момента будет равен

$$\Delta M' = \operatorname{tg} \lambda \operatorname{ctg} \rho \frac{\gamma_1}{2(z - 1) + \gamma_1}. \quad (3)$$

В случае растянутых гаек с полукруглым профилем резьбы при угле фазового смещения  $\varphi_F = 0$  максимальное и минимальное значения момента холостого хода (рис. 2, б) определяются по формулам

$$M_{\max} = (z - 1)M_1 + \gamma_k M_1 - [(z - 1)M_2 + \gamma_1 M_2],$$

$$M_{\min} = (z - 1)M_1 + \gamma_k M_1 - [(z - 1)M_2 + \gamma_k M_2].$$

При  $\gamma_1 \neq \gamma_k$  коэффициент неравномерности момента будет равен

$$\Delta M = \operatorname{tg} \lambda \operatorname{ctg} \rho \frac{\gamma_k - \gamma_1}{2(z - 1) + \gamma_k - \gamma_1}. \quad (4)$$

Наибольшая амплитуда колебания момента  $M_x$  наблюдается при угле фазового смещения  $\varphi_F = \varphi_W$ , при этом  $M'_{\max} = (z - 1)M_1 + \gamma_k M_1 - (z - 1)M_2$ ,  $M'_{\min} = (z - 1)M_1 - [(z - 1)M_2 + \gamma_k M_2]$ .

В этом случае коэффициент неравномерности момента будет равен

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

В реальных условиях коэффициент неравномерности  $\Delta M_g$  изменяется от  $\Delta M$  до  $\Delta M'$ , т.е.  $\Delta M \leq \Delta M_g \leq \Delta M'$ .

Используя графики распределения нагрузки по виткам резьбы [1], можно определить коэффициенты пропорциональности  $\gamma_1$  и  $\gamma_k$  в зависимости от схем нагружения, угла контакта шариков  $\alpha$  и шага резьбы  $s$ , при этом количество витков  $k = 4$ ,  $Q = 1200$  даН. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Анализируя формулы (2) ... (5), делаем вывод, что коэффициент неравномерности момента  $\Delta M$  будет тем больше, чем больше разница между  $\gamma_1$  и  $\gamma_k$ .

В случае сжато-растянутой схемы нагружения передачи, собранной с предварительным натягом, шарики будут приблизительно одинаково нагружены на входе и выходе из канала возврата. Наибольшее совпадение возможно при угле контакта шариков  $\alpha = 45^\circ$  и небольшом шаге резьбы. Кроме того, в реальных условиях коэффициент неравномерности  $\Delta M_g$  зависит от угла фазового смещения и изменяется в следующих пределах [3]:

$$\frac{1}{2z-1} \leq \Delta M_g \leq \operatorname{tg} \lambda \operatorname{ctg} \rho \frac{1}{2z-1} \quad (6)$$

Количество витков гайки значительно влияет на величину коэффициентов  $\gamma_1$  и  $\gamma_k$ . Например, используя данные, приведенные в [2], при  $Q = 3600$  даН,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $s = 32$  мм,  $k = 9$  получим  $\gamma_1 = 3,2$  и  $\gamma_g = 0,05$ . В этих условиях коэффициент неравномерности момента  $\Delta M$  может достигнуть  $\pm 20\%$  и более. Такое колебание момента холостого хода пары, изготовленной идеально точно, может оказать воздействие на плавность работы меха-

Т а б л и ц а 2

Схема нагружения	$\alpha = 45^\circ$ $s = 8$ мм				$\alpha = 60^\circ$ $s = 32$ мм			
	$Q_1$	$Q_4$	$\gamma_1$	$\gamma_4$	$Q_1$	$Q_4$	$\gamma_1$	$\gamma_4$
Гайки сжатые	392	256	1,3	0,9	540	152	1,8	0,51
Гайки растянутые	296	326	~1	1,1	295	407	0,95	1,35
Гайки сжато-растянутые	300	306	~1	1,02	292	335	0,82	1,2

низма. В случае арочного профиля резьбы нагрузка на первый и последний виток приблизительно одинакова и, следовательно, единичные моменты при входе и выходе шариков из натяга будут также равны. Так как для такой пары угол фазового смещения всегда равен нулю ( $\varphi_F = 0$ ), коэффициент неравномерности момента для данного варианта приблизительно равен [3]:

$$\Delta M \approx \frac{1}{2z - 1} . \quad (7)$$

Как следует из формулы (7), колебания момента холостого хода для гайки с арочным профилем сравнительно малы и зависят только от количества шариков. Эту гайку целесообразно использовать, если необходима высокая плавность работы ШВМ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ф и л о н о в И.П., П и к у с М.Ю. Определение оптимальных конструктивных параметров шариковых винтовых пар в связи с распределением нагрузки по виткам резьбы. — В сб.: Прогрессивная технология машиностроения. — Минск, 1971, вып. 2.
2. Ф и л о н о в И.П., Ш а р д ы к о П.П. Влияние разности шагов гайки и винта на равномерность распределения нагрузки по виткам резьбы шариковинтовой пары. — В сб.: Прогрессивная технология машиностроения. — Минск, 1972, вып. 4.
3. Sobolewski J. Analiza nierownomierosci pracy przekladnikulkowych srubowych z obiegami zewnetrznymi. Praca doct. — Warszawa, 1977.

УДК 621.9

Л.М. ДЕМБОВСКИЙ, Г.И. МЕЛАМЕД

### ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ПОИСКЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ НА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Анализ существующей практики проектирования автоматических линий (АЛ) показывает, что эта задача является многофакторной, требующей проработки теоретически множества, а практически — достаточно большого количества проектных вариантов.

На этапе разработки компоновки линии предопределяются ее производительность, надежность и ряд других технико-экономических показателей. Расчеты, связанные с определением производительности линии, важно увязывать с выбором режимов обработки. Так как эти вопросы оказывают непосредственное влияние на машинное время, то возникает необходимость решения данной задачи с помощью таких математических моделей, которые в удобной форме могли бы быть реализованы на ЭВМ.