

С. В. ХАЧИЯН

## ГРАДУИРОВАНИЕ ШКАЛЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА МЕТОДОМ КОСВЕННОГО ЗАМЕЩЕНИЯ

Косвенные измерения величины крутящего момента можно производить торсиомерами различных типов; многие торсиометры точны в измерении, удобны в изготовлении и эксплуатации, но по своей конструкции не позволяют градуировать шкалу измерителя в единицах крутящего момента на работающей установке. С этой целью выгодно отличается фотоэлектрический растровый датчик, который может быть установлен как торсиомер, так и градуирующее устройство для торсиомеров других типов. Недостаток предлагаемого метода заключается в том, что измерительному устройству требуется свободный участок вала неизменного диаметра, который служит измерительной базой.

Устройство (рис. 1) состоит из трубки 2 длиной  $L$  (измерительная база); один конец трубки крепится на валу, а на второй конец монтируется растровая шайба 3. Строго подобная зубчатая шайба 4 (изготовленная совместно с первой) крепится на валу так, чтобы против впадин шайбы 3 находились ее зубья. От газосветной лампы 5 световой поток падает на шайбу 3 через окно диафрагмы. При отсутствии крутящего момента измеритель 7 показывает нуль; фотоэлемент 6 заперт зубчатыми шайбами. С увеличением угла закручивания вала вентильный фотоэлемент генерирует световую энергию в электрическую пропорционально крутящему моменту.

Градуирование шкалы измерителя проводилось следующим способом. Измеряемая величина крутящего момента  $M_{кр}$  заменяется углом закручивания  $\varphi$ , а последний освещенной площадью  $S$  на фотоэлементе, а  $S$  в свою очередь фототоком  $I_{\phi}$ .

Изменяя величину фототока смещением одной шайбы относительно другой на неработающей установке, получают те же показания на приборе, что и при наличии закручивания вала. При указанных

условиях градуирования, очевидно, получим  $M_{кр} = cI_{\phi}$ .

Аналитически сущность градуирования заключается в том, что выражение

$$M_{кр} = \frac{GI_{\phi} \pi}{L \cdot 180} \varphi \quad (1)$$

умножается и делится на фототок  $I_{\phi}$ , тогда

$$M_{кр} = \frac{GI_{\phi} \pi}{L \cdot 180} \varphi \frac{I_{\phi}}{I_{\phi}}$$

Заменим  $I_\phi$ , стоящее в знаменателе, через его значение из эксперимента:

$$M_{кр} = \frac{I_\phi I_0 P G}{\frac{1}{2} Z \gamma (R^2 - r^2) l l c b} \quad (2)$$

где  $Z$  — число пар зубьев и впадин вместе, которые могли быть вписаны в световое окно диафрагмы (окно имеет форму кольцевого сектора по высоте впадины или зуба);

$\gamma$  — интегральная чувствительность вентильного фотоэлемента  $\left(\frac{\text{мкка}}{\text{лм}}\right)$ ;

$I_{св}$  — сила света люминесцентной лампы (св);

$\phi$  — угол закручивания (градус);

$R$  — радиус окружности выступов шайбы (см);

$r$  — радиус окружности впадин шайбы (см);

$G$  — модуль поперечной упругости материала вала  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}\right)$ ;

$I_p = \frac{\pi d^4}{32}$  — полярный момент инерции вала (см)<sup>4</sup>;

$d$  — диаметр вала (см).

Обозначим:

$$K_1 = \frac{1}{2} Z (R^2 - r^2) \frac{\pi}{180}; \quad K_2 = \frac{l 180}{G I_p \pi}; \quad K_3 = l c b \frac{\gamma}{l^2} = E \gamma,$$

где  $E = C_1 U^2$  — освещенность поверхности фотоэлемента (люкс);

$U$  — напряжение питающей лампы (в).

$\varphi = b \frac{180}{\pi R}$ , где  $b$  — длина дуги кольцевого сектора одной щели на шайбе радиуса  $R$ .

Освещенная площадь фотоэлемента

$$S = K_1 \varphi = \frac{1}{2} Z (R^2 - r^2) \frac{\pi}{180} \varphi \text{ (см}^2\text{)}.$$

где  $I_\phi = E \gamma S$ ;  $l c b = l^2 E$ ;  $l$  — расстояние от лампы до фотоэлемента (см).

С целью вычисления относительной погрешности измерения запишем

$$\frac{\Delta I_p}{I_p} = \pm 4 \frac{\Delta d}{d};$$

$$\frac{\Delta l c b}{l c b} = \pm \left( \frac{\Delta E}{E} + \frac{2 \Delta l}{l} \right);$$

$$\frac{\Delta \varphi}{\varphi} = \pm \left( \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta R}{R} \right);$$

$$\frac{\Delta I_{\Phi}}{I_{\Phi}} = \pm \left( \frac{\Delta E}{E} + \frac{\Delta S}{S} \right);$$

$$\frac{\Delta E}{E} = \pm \frac{\Delta U}{U};$$

$$\frac{\Delta S}{S} = \pm \left[ \frac{\Delta \varphi}{\varphi} + \frac{\Delta (R^2 - r^2)}{R^2 - r^2} \right];$$

В силу формул (1) и (2) получим:

$$\beta = \frac{\Delta M_{кр}}{M_{кр}} 100\%_{\text{о}} = \pm \left( \frac{\Delta I_{\Phi}}{I_{\Phi}} + \frac{\Delta \varphi}{\varphi} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta G}{G} \right) 100\%_{\text{о}}; \quad (3)$$

$$\beta_{\Phi} = \pm \left[ \frac{\Delta I_{\Phi}}{I_{\Phi}} + \frac{\Delta I_{\Phi}}{I_{\Phi}} + \frac{\Delta G}{G} + \frac{\Delta E}{E} + \frac{\Delta (R^2 - r^2)}{R^2 - r^2} + \frac{\Delta L}{L} \right] 100\%_{\text{о}}; \quad (4)$$

Из формулы (3) вытекает, что

$$\beta = \pm \left[ \pm \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta G}{G} \right] 100\%_{\text{о}}; \quad (5)$$

Из формулы (4)

$$\beta_{\Phi} = \pm \left[ \frac{\Delta b}{b} + \pm \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta G}{G} + \frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{\Delta U}{U} + 2 \frac{\Delta (R^2 - r^2)}{R^2 - r^2} \right] 100\%_{\text{о}}; \quad (6)$$

Тогда погрешность градуирования будет равна

$$\Delta \beta - \beta_{\Phi} - \beta = \pm 2 \left[ \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta (R^2 - r^2)}{R^2 - r^2} \right] 100\%_{\text{о}}; \quad (7)$$

По эксперименту погрешность  $\Delta \beta$  оказалась равной  $\pm 0,04\%_{\text{о}}$ .

Экспериментальная зависимость  $I_{\Phi}$  от  $M_{кр}(\varphi)$  приводится в табл. 1.

Таблица 1

$\varphi$ град	$S = S_{1-n}$ см <sup>2</sup>	$I_{\Phi}$ мка	$\varphi = \frac{I_{\Phi}}{I}$ мм	$\pm \frac{U \cdot 10^4}{S}$ вольт	$M_{кр}$ кг.м	$\frac{\Delta M_{кр}}{M_{кр}} 100\%_{\text{о}}$
5'	0,121	1,1	0,0022	176,917	9,415	
10'	0,218	2,2	0,0044	176,917	18,830	2,73
15'	0,352	3,3	0,0066	176,917	28,245	2,03
20'	0,496	4,4	0,0088	176,917	37,660	1,48
25'	0,620	5,5	0,0110	176,917	47,076	1,23
30'	0,744	6,6	0,0132	176,917	56,491	1,06
35'	0,868	7,7	0,0154	176,917	65,906	0,94
40'	0,992	8,8	0,0176	176,917	75,321	0,85
45'	0,111	9,9	0,0198	176,917	84,736	0,78
50'	0,121	11,0	0,0220	176,917	94,152	0,73
55'	0,136	12,1	0,0242	176,917	103,567	0,68
1'	0,148	13,2	0,0264	176,917	112,982	0,61

Примечание:  $L = 330$  мм.  $l = 500$  мм.  $U = 125$  в.  $d = 40$  мм,  $d$  — диаметр вала между двигателем и генератором. Данные сняты на дизельгенераторной установке. (Танковый дизель „Лейланд“ на 150 л.с. и шунтовой генератор на 45 квт)