

УДК 677 – 487.5.23.275

**ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА
НА МАСШТАБ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ПРИ КОНТРОЛЕ ФОРМЫ БОБИН МЕТОДОМ ТЕНЕВОЙ ПРОЕКЦИИ**

М.Н. НУРИЕВ, П.Н. КИСЕЛЕВ

(Костромской государственный технологический университет,
Азербайджанский государственный экономический университет)

Для контроля дефектов формы паковок методом теневой проекции требуется определение высоты профиля H контролируемого участка паковки в нормальном сечении (рис.1). Однако при использовании метода теневой проекции сечения камера фиксирует высоту профиля h в некотором наклонном сечении.

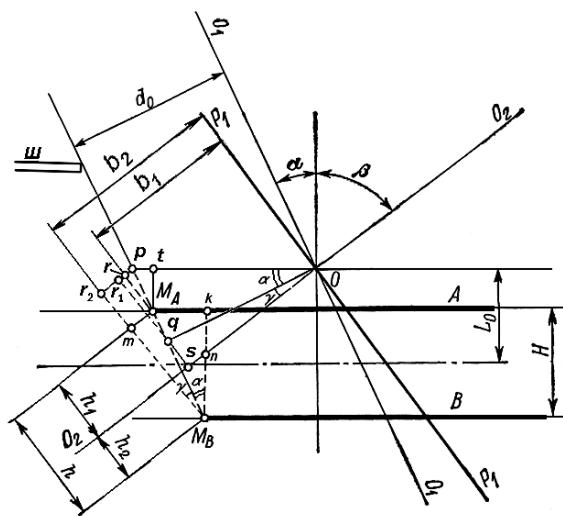


Рис. 1

Между этими величинами существует прямо пропорциональная зависимость:

$$H = Mh, \quad (1)$$

где M – масштаб преобразования профиля.

В [1] показано, что формирование изображения в пространстве предметов реги-

стрирующей камеры происходит по-разному, в зависимости от того, является ли исследуемая поверхность отражающей или рассеивающей свет. Поверхность тела намотки образована текстильными нитями и входящими в их состав волокнами и поэтому представляет собой поверхность, рассеивающую свет.

Определим масштаб преобразования профиля и положение изображения профиля в пространстве предметов регистрирующей камеры для поверхностей, рассеивающих свет.

На рис. 1 показана ступенька высотой H , образованная рассеивающими поверхностями A и B . Точки M_A и M_B находятся на границе промежуточного изображения края шторки $\mathbb{Ш}$, спроектированной на эти поверхности. O_1-O_1 и O_2-O_2 оптические оси осветителя и регистрирующей камеры. L_0 – расстояние предметной точки O до средней линии профиля, P_1 – предметная плоскость регистрирующей камеры.

Расстояния от точек M_A и M_B до оптической оси O_2-O_2 камеры обозначены через h_1 и h_2 , а расстояния от этих точек до предметной плоскости P через b_1 и b_2 . Определим высоту профиля h , регистрируемую камерой. Из треугольника $kM_A M_B$:

$$M_A M_B = \frac{H}{\cos \alpha},$$

а из треугольника $mM_B M_A$:

$$h = mM_B = M_A M_B \sin \gamma,$$

то есть

$$h = H \frac{\sin \gamma}{\cos \alpha}. \quad (2)$$

Пусть угол $\angle nM_B = \beta$, тогда угол $\angle mM_Bn = 90^\circ - \beta$. Как видно из рис. 1, $\gamma = \angle mM_Bn - \alpha = 90^\circ - \beta - \alpha$.

С учетом последнего

$$h = H \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}, \quad (3)$$

то есть масштаб преобразования без учета оптического и цифрового увеличения камеры равен

$$M = \frac{H}{h} = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}. \quad (4)$$

Положение изображения тени в поле зрения камеры определяется величинами h_1 и h_2 . Они существенно зависят от положения шторки, которое определяется величиной d_0 , и положением предметной точки O , которое определяется размером L_0 . Из рис. 1 видно, что

$$h_1 = sq + qr_1 - M_{Ar}, \quad (5)$$

$$h_2 = M_{Br_2} - sq - qr_1. \quad (6)$$

Определим величины отрезков, входящих в (4) и (5)

$$M_{At} = L_0 - \frac{H}{2}. \quad (7)$$

$$h_1 = d_0 \cos(\alpha + \beta) + d_0 \operatorname{tg} \alpha \sin(\alpha + \beta) - \left(L_0 - \frac{H}{2} \right) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}. \quad (14)$$

Аналогично после подстановки (10), (12) и (13) в (6) получим

$$h_2 = \left(L_0 + \frac{H}{2} \right) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha} - d_0 \operatorname{tg} \alpha \sin(\alpha + \beta) - d_0 \cos(\alpha + \beta). \quad (15)$$

Величина $b = b_2 - b_1$ определяет требуемую величину глубины резкости регистрирующей камеры. Отрезки b и h являются катетами в треугольнике $mM_B M_A$, по-

Из треугольника M_{Ar}

$$M_{Ar} = \left(L_0 - \frac{H}{2} \right) \frac{1}{\cos \alpha}. \quad (8)$$

Из треугольника M_{Br} :

$$\begin{aligned} M_{Br} &= \left(L_0 - \frac{H}{2} \right) \frac{\cos \gamma}{\cos \alpha} = \\ &= \left(L_0 - \frac{H}{2} \right) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}. \end{aligned} \quad (9)$$

Рассуждая аналогично, получим выражение для определения:

$$M_{Br_2} = \left(L_0 + \frac{H}{2} \right) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}. \quad (10)$$

Из треугольника qOr :

$$pq = d_0 \operatorname{tg} \alpha, \quad (11)$$

а $qr_1 = pq \cos \gamma = pq \sin(\alpha + \beta)$. Подставляя (11) в последнее выражение получим

$$qr_1 = d_0 \operatorname{tg} \alpha \sin(\alpha + \beta). \quad (12)$$

Из треугольника qsO :

$$qs = d_0 \sin \gamma = d_0 \cos(\alpha + \beta). \quad (13)$$

Подставим значения отрезков из (8), (12) и (13) в (5) и получим выражение для расчета h_1 :

этому с учетом (3) можно написать

$$b = H \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}. \quad (16)$$

Глубина резкости у объективов, используемых в цифровых камерах при съемке с расстояния 0,4 м составляет около 10 см, то есть гораздо больше величины b . Таким образом, получение резкого изображения обеспечивается всегда.

Из формул (3) и (16) следует, что масштаб преобразования зависит от угла проекции α и от угла $\alpha + \beta$ между оптическими осями осветителя и камеры. При постоянном значении угла наблюдения β масштаб преобразования увеличивается с увеличением угла проекции α . Если углы проекции α и наблюдения β не равны, то масштаб преобразования профиля и отрезки h_1 и h_2 , определяющие положение профиля в поле зрения камеры, различны даже при $L_0 = 0$ и $d_0 = 0$.

В устройстве для получения первичного изображения $\beta = 0$, с учетом этого формулы (3), (14) и (15) переписутся в виде

$$h = H \operatorname{tg} \alpha, \quad (17)$$

$$h_1 = d_0 \cos \alpha + d_0 \operatorname{tg} \alpha \sin \alpha - \left(L_0 - \frac{H}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha, \quad (18)$$

$$h_2 = \left(L_0 + \frac{H}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha - d_0 \operatorname{tg} \alpha \sin \alpha - d_0 \cos \alpha. \quad (19)$$

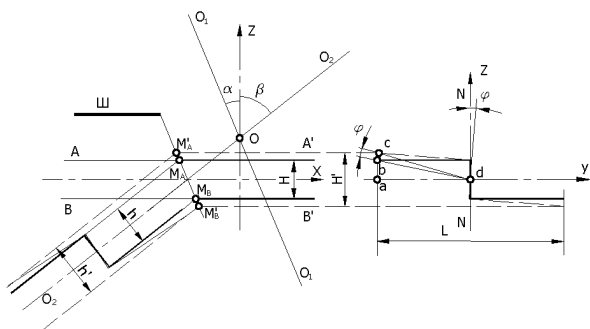


Рис. 2

Рассмотрим случай, когда нормаль к поверхности не лежит в плоскости, проходящей через оптические оси осветителя и камеры, а отклонена на угол φ (рис.2). В поле зрения камеры изображение поверхности в виде границы света и тени будет наклонено относительно горизонтального

положения на угол φ . На рис. 2 показано изображение границы света и тени в предметной плоскости регистрирующей камеры, образованной рассеивающими поверхностями А и В, образующими ступеньку высотой Н. Оптические оси осветителя и камеры лежат в плоскости NN. После поворота плоскостей А и В на угол φ они займут положение А' и В', при этом угол между нормалью к поверхностям А' и В' и плоскостью NN также будет равен φ .

Высота ступеньки теперь зависит от ширины наблюдаемого объекта, в нашем случае от ширины бобины или толщины намотки. Обозначим эту величину L. Точки M_A и M_B , находившиеся на краях наблюдаемого изображения тени до поворота объекта, перейдут в точки M'_A и M'_B , соответственно. Высота наблюдаемой тени составит H' . При повороте нормали к поверхностям А и В на угол φ точка b на границе тени перейдет в точку c по окружности с радиусом $bd = cd$. Угол $bdc = \varphi$, а угол

$$bda = \arcsin \frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}}. \quad (20)$$

Расстояние от точки c до оси X можно рассчитать по формуле $H'/2 = bd \sin(\text{adc})$. Учитывая, что угол $\text{adc} = bda + bdc$, а $bd = \sqrt{H^2 + L^2}$ после очевидных преобразований, получим окончательно:

$$H' = \sqrt{H^2 + L^2} \sin \left(\varphi + \arcsin \frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}} \right). \quad (21)$$

Соответствующим образом с h на h' изменится и наблюдаемая величина тени. Поскольку углы α и β остаются неизменными, то величина H' может быть преобразована в h' по формуле, аналогичной (3):

$$h' = H' \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}. \quad (22)$$

Подставив значение H' из(21) окончательно получим

$$h' = \sqrt{H^2 + L^2} \sin \left(\varphi + \arcsin \frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}} \right) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}. \quad (23)$$

Формула для расчета масштаба преобразования будет иметь вид:

$$M = \frac{h'}{H} = \sqrt{1 + \left(\frac{L}{H} \right)^2} \sin \left(\varphi + \arcsin \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{H} \right)^2}} \right) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}. \quad (24)$$

Полученная формула позволяет провести анализ погрешностей при контроле профиля поверхности бобины методом теневой проекции.

ВЫВОДЫ

1. Получена формула для определения масштаба преобразования при контроле формы бобины методом теневой проекции от конструктивных параметров устройства.

2. Показано, что на масштаб преобразования влияют не только углы между нор-

малью к поверхности бобины и оптическими осями осветителя и фотоприемника, но и ширина контролируемой бобины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучин А.А., Обрадович К.А. Оптические приборы для измерения шероховатости поверхности. – Л.: Машиностроение, 1981.

Рекомендована кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов. Поступила 21.06.2006.