Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LIX, вып. 1, 1969 г.

О ВЛИЯНИИ ФОРМЫ СТЕНОК АМПУЛ НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ОДНОЖИДКОСТНЫМ КОМПЕНСАТОРОМ

Ю. И. Беспалов

Капиллярное поднятие жидкости в ампулах оптических компенсаторов может вызвать ухудшение качества изображения зрительной трубы. Для определения внутреннего радиуса r ампул компенсатора с большим световым отверстием предложены формулы *

$$r_1 = u_1 + \frac{a}{\sqrt{2}}\left\{\ln\left[4a\,\mathrm{tg}\,\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\theta}{2}\right)\right]-\ln l\right\}, \qquad (1)$$

$$r = r_1 - a\sqrt{2} + a\sqrt{1+\sin\theta},$$

где u_1 — радиус светового пучка; a — капиллярная постоянная; θ — краевой угол жидкости; l — допустимое отклонение поверхности жидкости от плоской.

Выражение (1) справедливо при цилиндрической форме стенок ампул.

Определим влияние формы стенок сосуда на величину капиллярного поднятия жидкости. Дифференциальное уравнение поверхности жидкости вблизи стенок широкого осесимметрич-

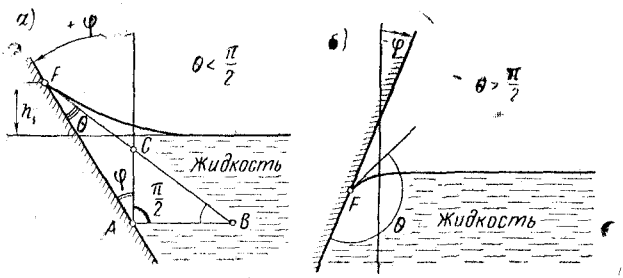
---

* Беспалов Ю. И. О влиянии кривизны поверхности жидкости на качество изображения зрительной трубы нивелира с жидкостным компенсатором. Изв. ВУЗов «Геодезия и аэрофотосъемка», вып. 5, 1966.

ного сосуда, полученное на основании формулы Лапласа, имеет вид

$$1-\frac{z^2}{a^2}=\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{dz}{du}\right)^2}}, \qquad (2)$$

где z — вертикальная координата точки поверхности жидкости;
u — отстояние точки от оси сосуда.



Капиллярное поднятие жидкостей возле наклонной стенки: *а* — смачивающей; *б* — несмачивающей

В точке F, находящейся на стенке сосуда, наклоненной под углом φ к вертикали (рисунок, *а*), имеем

$$\frac{dz}{du}=\pm\operatorname{tg}\sphericalangle FBA,$$

поскольку FB — касательная к поверхности в точке F. Из треугольника ABC находим

$$\sphericalangle FBA=\frac{\pi}{2}-(\varphi+\theta). \qquad (3)$$

Подставляя (3) в (2) и решая это уравнение, получаем выражение для определения капиллярного поднятия $z=h_1$ в точке F

$$h_1=\pm a\sqrt{1-\sin(\varphi+\theta)}. \qquad (4)$$

Знак перед h_1 в (4) определяется соотношением величин углов θ и φ. При $\theta<\frac{\pi}{2}$ (смачивание)

$$h_1>0, \text{ если } \varphi<\frac{\pi}{2}-\theta,$$

$$h_1 < 0, \text{ если } \varphi > \frac{\pi}{2} - \theta.$$

Таким образом, изменяя угол φ, можно воздействовать на величину капиллярного поднятия жидкости. Очевидно, что капиллярное поднятие жидкости будет минимальным в сосуде, стенки которого наклонены под углом

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \theta. \tag{5}$$

Для уменьшения капиллярного искривления поверхности жидкости, не смачивающей стенки сосуда, $\theta > \frac{\pi}{2}$, последние должны иметь наклон, противоположный случаю смачивания (рисунок, *б*).

Решая уравнение (2) при $\varphi = 0$, получаем выражение для капиллярного поднятия у стенок цилиндрического сосуда

$$h_1' = \pm a\sqrt{1 - \sin\theta}. \tag{6}$$

Из сравнения (4) и (6) вытекает, что в коническом сосуде, в отличие от цилиндрического, характер взаимодействия жидкости со стенками сосуда определяется значением суммы углов φ и θ.

Учитывая (4), получаем выражение для внутреннего радиуса ампулы с конусообразными стенками

$$r_1 = u_1 + \frac{a}{\sqrt{2}}\left\{\ln\left[4a \operatorname{tg}\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta + \varphi}{2}\right)\right] - \ln l\right\}. \tag{7}$$

При конструировании маркшейдерско-геодезических приборов с жидкостными компенсаторами следует учитывать, что равенство (5) может быть нарушено вследствие влияния гистерезиса смачиваемости. Гистерезис смачиваемости проявляется в изменении краевого угла жидкости при оттекании и натекании последней. Для хорошо обработанной поверхности стенок ампулы можно принять колебания величины краевого угла в пределах 2°. Тогда при соблюдении равенства (5) выражение (7) можно преобразовать, подставляя абсолютное значение tg 0°30′, так как при нарушении равенства (5) в любую сторону радиус r должен возрастать. Для ампул с коническими стенками окончательно получаем при $r = r_1$

$$r = u_1 + \frac{a}{\sqrt{2}}\left(\ln\frac{a}{l} - 3{,}358\right). \tag{8}$$

Рассчитаем внутренний диаметр ампул для смеси дибутилфталата с диметилфталатом и алюминиевых стенок при $a=0{,}253$ *см*, $\theta=28°$, $u_1=1{,}25$ *см*, $l=277$ *мм* (один слой жидкости). Получаем для цилиндрической ампулы по формуле (1) $r=2{,}85$ *см*, для конической ампулы по формуле (8) $r=2{,}28$ *см*, т. е. диаметр ампулы с коническими скосами может быть на 11 *мм* меньше, чем цилиндрической.

Для экспериментальной проверки влияния формы стенок сосуда на качество изображения зрительной трубы применялась смесь дибутилового и диметилового эфиров фталевой кислоты. Для ампулы с коническими стенками при $r=1{,}80$ *см*, $u_1=1{,}25$ *см* разрешающая способность зрительной трубы составляла 6″, 4, т. е. была того же порядка, что для цилиндрической ампулы при $r=2{,}50$ *см*.

Таким образом, для одножидкостных компенсаторов с большим световым отверстием ($u_1 \geqslant 1$ *см*) выгоднее применять ампулы с коническими стенками. Угол наклона стенок определяется согласно равенству (5). Внутренний радиус таких ампул (на уровне поверхности жидкости) рассчитывается по формуле (8). Рекомендуемый способ уменьшения габаритов ампул будет эффективен в широком температурном диапазоне, поскольку величина краевого угла практически не зависит от температуры. *

---

* Phillips M. C., Riddiford A. C. Nature, 205, № 4975, 1965.