

В. А. КАТУШКОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ФОТОГРАФИРОВАНИИ С АЭРОСТАТА

Колебания аэростата связаны с завихрением ветра в поверхностном слое вблизи поверхности земли, где атмосфера в среднем соприкасается с земной поверхностью, не идеально ровной так как на ней имеются долины и возвышенности, растительность и сооружения. Затухание вихрей наблюдается на высоте около 70 м (когда речь идет о равнинной местности) и повышается в несколько раз на всхолмленных и горных участках. Поэтому при аэростатном фотографировании с небольшой высоты (до 200 м) для получения крупномасштабных снимков необходимо учитывать порывистый ветер, заставляющий перемещаться аэростат и подвешенный к нему фотоаппарат в разных направлениях.

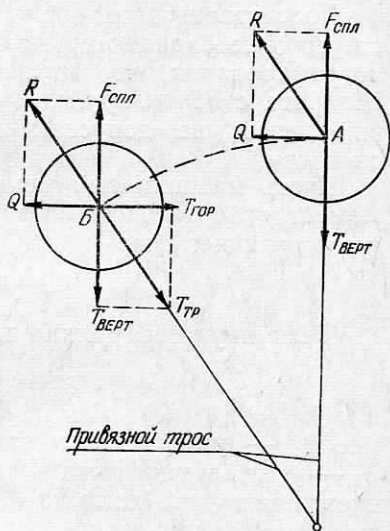
Пусть в начальном положении  $A$  на аэростат со сплавной силой  $F_{\text{спл}} = \Phi - (G_{\text{кон}} + G_{\text{гр}})$  и реакцией силы связи  $T_{\text{верт}}$  (рис. 1) подействовала сила ветра  $Q$ , где  $\Phi$  — полная аэростатическая подъемная сила аэростата;  $G_{\text{кон}}$  — вес конструкции;

$G_{гр}$  — вес грузов, поднимаемых аэростатом [1]. Аэростат начнет опускаться по линии окружности, образованной длиной троса, до момента остановки  $B$ , при котором наступает равновесие приложенных к нему сил и противодействующих сил реакции  $T_{верт}$  и  $T_{гориз}$ , образующих равнодействующую реакцию силы связи  $T_{тр}$ . При ослаблении силы ветра  $Q$  аэростат будет стремиться занять первоначальное положение. Эти, порой неравномерные колебания аэростата, вызванные порывами ветра на небольшой высоте, и неравенство миделевых сечений самого аэростата и фотокамеры создают маятниковые моменты к подвешенной камере кроме горизонтального и вертикального ее перемещения.

Для получения резких снимков, которые в последующем могут обрабатываться на универсальных приборах или измеряться на стереокомпараторах с последующей аналитической обработкой, необходимо рассмотреть получаемую величину смаза, зависящую от изменения положения аппарата в момент экспонирования.

Рис. 1. Схема сил, действующих на аэростат:

$A$  — центр аэростата;  $R$  — радиус давления аппарата;  $P$  — сила давления ветра.



Фотоаппарат, подвешенный на аэростате, при экспонировании может изменять свое положение в четырех направлениях: горизонтальном, вертикальном, испытывать кручение вокруг оптической оси и маятниковое качание.

Рассмотрим каждое из этих движений в отдельности и найдем допустимые скорости изменения положения аппарата, при соблюдении которых получится величина смаза изображения.

Горизонтальное перемещение аппарата вызывает величину смаза, находимую по формуле

$$\delta_r = \frac{f_k \cdot v \cdot t}{H} \quad (1)$$

При средней скорости ветра  $v = 5$  м/с и при  $f_k = 30$  мм  $H = 100$  м,  $t = 1/100$  получим  $\delta_r = 0,015$  мм.

Смаз, вызванный вертикальным перемещением аппарата, находим по формуле

$$\delta_v = \frac{r_{max} \cdot v \cdot t}{H} \quad (2)$$

при  $r_{max} = 40$  мм,  $\delta_v = 0,02$  мм.

Расчеты по формулам (1) и (2) показывают, что при нормальных условиях фотографирования (при средней скорости ветра  $v=5$  м/с) смаз изображения, вызванный горизонтальным и вертикальным перемещением аппарата, не превысит допустимой [1, 2] величины.

Кручение аппарата вокруг оптической оси вызовет смаз

$$\delta_{кр} = r \cdot \kappa, \quad (3)$$

откуда допустимый поворот при  $r=40$  мм,  $\delta_{кр}=0,1$  мм будет равен  $8,5'$ .

Подсчитанный по формуле (3) угол поворота  $\kappa$  свидетельствует о необходимости стабилизировать камеру в момент фотографирования, что выполняется прикреплением к корпусу аппарата стабилизирующего парашютика или легкой капроновой ленты, не допускающих его вращения вокруг оптической оси.

Пусть маятниковый момент вызовет колебание аппарата в момент срабатывания затвора на угол  $\alpha$  (рис. 2), вследствие чего возникнет смаз

$$\delta_m = m_1 \cdot o_1 + m_2 \cdot o_2. \quad (4)$$

Величину смаза можно найти по формуле

$$\delta_m = f_k [\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta_2], \quad (5)$$

где  $\beta_1$  — угол засечки точки  $M$  на горизонтальном снимке;  $\beta_2$  — угол засечки точки  $M$  на снимке  $P_2$ , получившем в момент экспозиции угол наклона  $\alpha$ , вызванный вынужденным маятниковым качанием аппарата.

Величину  $\beta_2$  находим как разность

$$\beta_2 = 180^\circ - (90 - \alpha/2) - \gamma = 90^\circ + \alpha/2 - \gamma. \quad (6)$$

Угол  $\gamma$  можно найти по формуле тангенсов

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{S_1 M \cdot \sin S}{S_1 S_2 + S, M \cdot \cos C}, \quad (7)$$

где

$$S_1 M = \frac{H}{\cos \beta_1}; \quad S_1 S_2 = 2 \cdot (R + f_k) \sin \alpha/2.$$

После преобразований

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\cos(\alpha/2 + \beta_1)}{\frac{2(R + f_k)}{H} \cdot \sin \alpha/2 \cdot \cos \beta_1 + \sin(\alpha/2 + \beta_1)}. \quad (8)$$

Таким образом, значение угла  $\gamma$ , а также связанного с ним угла  $\beta_2$  зависит от пяти исходных данных: углов  $\alpha$  и  $\beta_1$ , радиу-

са подвеса  $R$ , фокусного расстояния камеры  $f_k$  и высоты фотогра-  
фирования  $H$ .

При разных углах  $\beta_1$ , определяющих различные точки мест-  
ности, и постоянном угле наклона  $\alpha$  величина смаза различна.  
Так, у точек, лежащих на биссектрисе угла наклона  $\alpha$ , она  
минимальная и возрастает при отклонениях угла  $\beta_1$  в ту или  
иную сторону.

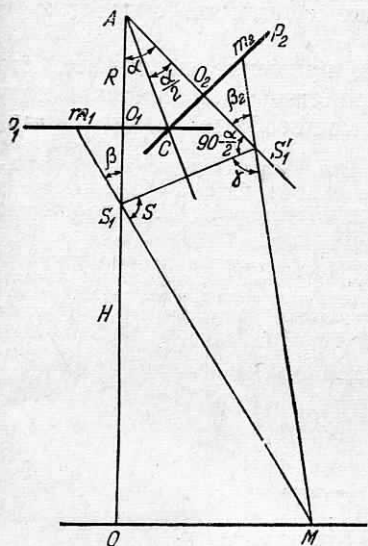


Рис. 2. Колебание аппарата, вы-  
званное маятниковым качанием:  
 $S_1$  — центр проекции горизонтально-  
го снимка;  $S_1'$  — центр проекции на-  
клонного снимка, вызванного маятни-  
ковым качанием аппарата.

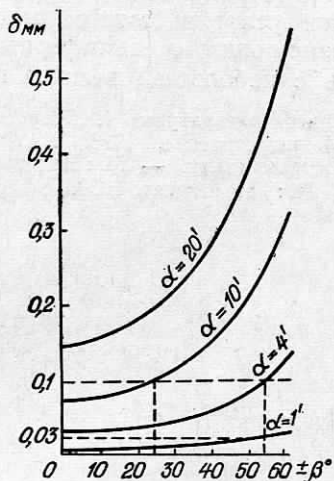


Рис. 3. Погрешность смаза с  
учетом наклона  $\alpha$  и угла за-  
сечки  $\beta_1$ :

$\beta_1$  — угол засечки точки;  $\alpha$  —  
угол наклона снимка;  $\delta$  — вели-  
чина смаза.

На рис. 3 показаны величины смаза, зависящие от двух  
углов  $\beta_1$  и  $\alpha$ , при  $f_k=30$  мм,  $H=100$  м,  $R=1$  м, по которым  
можно установить допуск изменения угла наклона в момент  
экспозиции при маятниковом качании для получения резкого  
снимка (когда  $\delta_m < 0,1$  мм).

Если в момент экспозиции оптическая ось аппарата изме-  
нила свое положение на  $1'$ , то максимальный смаз на краю  
снимка (когда угол  $\beta_1=55^\circ$ ) будет равен 0,03 мм, а в центре  
0,005 мм (рис. 3).

При изменении положения оптической оси на  $4'$  смаз на  
краю снимка с тем же углом  $\beta_1$  достигнет 0,1 мм; с дальней-  
шим увеличением угла наклона величина смаза растет про-  
порционально углу наклона камеры, вызванного ее маятнико-  
вым качанием. Так, при  $\alpha=10'$  величина смаза получится боль-  
ше допустимой, если углы засечки  $\beta_1$  превышают  $25^\circ$  (рис. 3).

Согласно приведенным выше формулам и расчетам, можно  
сделать вывод, что горизонтальное и вертикальное изменение

камеры в момент фотографирования создает смаз, не превышающий нормы при средних скоростях ветра, т. е. при нормальных условиях фотографирования. Для получения допустимого смаза при кручении аппарата вокруг оптической оси и маятниковом качании необходимо соблюдать более жесткие требования к подвижности аппарата, например, кручение аппарата на угол  $\alpha$  не должно превышать 0,25 рад/с или 14,5 град/с, а маятниковое качание с угловой скоростью не более 0,11 рад/с или 6,6 град/с.

Эти условия можно выполнить, применив несложные стабилизирующие и демпферные устройства, позволяющие получить с небольшой высоты крупномасштабные резкие снимки.

**Список литературы:** 1. *Броуде Б. Г.* Воздухоплавательные аппараты.— М.: Машиностроение, 1976. 2. *Дробышев Ф. В.* Основы аэрофотосъемки и фотограмметрии. — М.: Недра, 1973. 3. *Шершень А. И.* Аэрофотосъемка. — М.: Геозедиздат, 1958.

Работа поступила в редколлегию 22 января 1979 года. Рекомендована кафедрой геодезии и картографии географического факультета Киевского государственного университета.