

УДК 528.715.1

### АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТ ПО АЭРОФОТОСЪЁМКЕ

канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА  
(Полоцкий государственный университет);  
М.А. НАПРИЕНКОВА  
(РентгенСнаб, Москва)

С появлением новых материалов, оборудования и технологий возникает необходимость в разработке нормативных и технических документов, которые должны четко регламентировать основные требования к конечной продукции и систему технического контроля. В 2006 году в Беларуси Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь выпустил «Технический кодекс установившейся практики». В этом Кодексе освещены общие принципы организации и исполнения контроля и приемки основных видов работ, выполняемых при создании земельно-информационной системы. Большое внимание Кодекс уделил работам по аэрофотосъемке. Рекомендовано оценку качества аэрофотосъемочных материалов выполнять по следующим параметрам: 1) контроль фотографического качества материалов аэрофотосъемки; 2) контроль фотографического качества; 3) контроль качества аэрофотосъемочных маршрутов. В статье рассматриваются вопросы анализа и контроля фотографического, фотограмметрического качества материалов аэрофотосъемки и качества аэрофотосъемочных маршрутов приведенного в Техническом кодексе по геодезическим работам.

**Введение.** В настоящее время аэрофотосъемка является одним из основных методов создания и обновления топографических карт и планов, так как этот метод позволяет выполнять работы в достаточно короткие сроки и в значительной мере уменьшать затраты на производство картографических материалов за счёт сокращения объёма дорогостоящих полевых работ.

Аэрофотосъемка в Беларуси выполняется с самолёта АН-2 аэрофотоаппаратом швейцарской фирмы Leica RC-30 с фокусным расстоянием  $f = 153$  мм, форматом кадра  $23 \times 23$  см, установленным на гиросtabilизирующей платформе PAV-30, при поддержке GPS-данными, по которым можно определить координаты центров фотографирования всех аэрофотоснимков.

Для составления топографической карты аэроснимки должны отвечать техническим условиям, выдвигаемым последующей фотограмметрической обработкой.

Комитетом по земельным ресурсам геодезии и картографии 30 декабря 2005 года был издан Технический кодекс по геодезическим работам, где также рассмотрены вопросы Технического контроля материалов аэрофотосъемки, включающей в себя следующие пункты [1]:

- контроль фотографического качества материалов аэрофотосъемки;
- контроль фотограмметрического качества материалов аэрофотосъемки;
- контроль качества аэрофотосъемочных маршрутов.

**Основная часть.** При рассмотрении вышеперечисленных пунктов были замечены существенные ошибки. С точки зрения редакции имеются опечатки, например: в таблице 1 дважды напечатано слово «максимальное», тогда как в первом случае должно быть слово «минимальное» [1].

Таблица 1

Продольное перекрытие (%)

Заданное	Максимальное	Максимальное	
		$h/H \leq 0,2$	$h/H > 0,2$
60	56	66	70
80	78	83	85
90	89	92	93

По нашему мнению, подобные погрешности недопустимы и требуют доработки.

В Техническом кодексе все требования приведены в предположении, что аэрофотосъемка выполняется фотоаппаратами с фокусными расстояниями 100, 140, 200, 350 и 500 мм и форматом кадра  $18 \times 18$  см [1], в то время как в Беларуси применяется аэрофотоаппарат RC-30 с фокусным расстоянием 153 мм и форматом кадра  $23 \times 23$  см.

Рассматривая пункт «Контроль фотографического качества материалов аэрофотосъемки», в Техническом кодексе изложены требования к уже готовым, т.е. прошедшими химико-фотографическую обработку аэрофильмам. Считаем, что после проявления и закрепления аэрофильма проверять качество

нужно, но в инструктивных указаниях должно быть также отмечено, как получить фильм требуемого качества, что в Кодексе не сделано.

Далее в Кодексе говорится «... облака, тени от них, пятна, блики на аэрофотоснимках не должны находиться в зоне стандартного расположения точек» [1].

По нашему мнению, теней от облаков, как и самих облаков, не должно быть вообще на снимках, даже если они не находятся в зоне стандартного расположения точек. К тому же фототриангуляцию мы сможем выполнить без помех, а последующие работы по созданию планов выполним с браком, особенно дешифрирование.

Анализируя требования к фотограмметрическому качеству материалов аэрофотосъёмки, изложенных в Кодексе, также обнаружены грубые ошибки.

Рассмотрим формулы для проверки фактической высоты фотографирования в равнинной и пересечённой местностях.

Для *равнинной местности* рекомендовано использовать формулу [1]:

$$H_{\phi} = \frac{f_k \cdot d_k}{1000 \cdot d_n}, \quad (1)$$

где  $f_k$  – фокусное расстояние;  $d_k, d_n$  – отрезки соответственно на карте и на накидном монтаже.

Допустим, что масштабы карты и накидного монтажа равны, следовательно, отрезки на них будут также равны, например,  $d_k = d_n = 10$  см; фокусное расстояние  $f_k$  примем 153 мм.

Тогда получаем:

$$H_{\phi} = \frac{153}{1000} \cdot \frac{100}{100} = 0,153 \text{ (м)}, \quad (2)$$

что не имеет смысла.

Фактическую высоту фотографирования, необходимую для получения снимков заданного масштаба, вычисляют по следующей формуле [2]:

$$H_{\phi} = f_k \cdot m, \quad (3)$$

где  $m$  – знаменатель масштаба снимка, который можно определить, используя параметры, предложенные Кодексом [1], а именно:  $d_k$  – расстояние на карте;  $d_{cn}$  – соответствующее расстояние на аэроснимке, по формуле [3]:

$$m = \frac{d_k \cdot M}{d_{cn}}. \quad (4)$$

Следовательно,

$$H_{\phi} = \frac{f_k}{1000} \cdot \frac{d_k \cdot M}{d_n}, \quad (5)$$

где  $M$  – знаменатель масштаба карты;  $d_k, d_n$  – отрезки соответственно на карте и на накидном монтаже.

Величина 1000 подставляется в том случае, если фокусное расстояние задано в миллиметрах.

Подставим расчётные данные в формулу (5):

$$H_{\phi} = \frac{153}{1000} \cdot \frac{100 \cdot 10000}{100} = 1530 \text{ (м)}, \quad (6)$$

что даёт нам вполне удовлетворительный результат.

Рассмотрим формулу для расчёта высоты фотографирования в *пересечённой местности*, предложенную Кодексом [1]:

$$H_{\phi} = \frac{d_k}{d_{cn}} \cdot \frac{f_k \cdot M}{100} (A_m - A_{cp}), \quad (7)$$

где  $A_m$  – абсолютная высота средней плоскости участка аэрофотосъёмки;  $A_{cp}$  – средняя плоскость высот между измеренными точками.

Пояснения к буквенным обозначениям  $A_m$  и  $A_{cp}$  сформулированы некорректно, так как означают почти одно и то же, из чего как частный случай следует:

$$A_m - A_{cp} = 0, \tag{8}$$

и тогда

$$H_\phi = 0, \tag{9}$$

чего не может быть.

Даже если  $A_m \neq A_{cp}$ , то их разница будет мала, что тоже не даёт удовлетворительного результата.

В горной местности высота полета самолета (например, абсолютная  $H_{abs.}$ ) рассчитывается по формуле [2]:

$$H_{abs.} = H_\phi + A_{cp}, \tag{10}$$

где  $H_\phi$  – является всегда постоянной величиной, определяемой по формуле (3);  $A_{cp} = \frac{A_{max} + A_{min}}{2}$  – средняя отметка снимаемого участка местности или маршрута (в случае горного рельефа);  $i$  – номер съемочного участка или маршрута.

Однако в Беларуси нет такой местности, где бы потребовалось вычислять высоту полета самолета для каждого маршрута, поэтому в Кодексе можно было бы и не приводить формулу (7).

Продольное и поперечное перекрытия задаются в зависимости от характера местности, масштаба аэрофотосъемки и назначения полученных снимков. На процент перекрытий снимков окажет, кроме других факторов, и непараллельность базиса фотографирования  $b$  стороне аэрофотоснимка, которую часто называют елочкой  $k$ , представленной на рисунке 1.

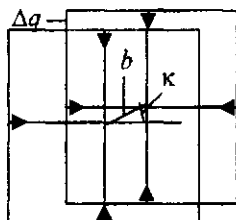


Рис. 1. Елочка

В Кодексе приведены допуски на максимальные углы елочки  $k$ , указанные в таблице 2 [1].

Таблица 2

Допуски на максимальные углы елочки

$f$ , мм	$k$ , °
100 и меньше	5
140	7
200	10
350	12
500	14

Как видим, допуски приведены для аэрофотоаппаратов, не применяемых в Беларуси.

Елочка – сложное явление, причины ее возникновения различны. Рассмотрим основные [2].

1. Елочка линейного бокового уклонения (см. рис. 1) [2]. Причины возникновения – не точно подобран курс съемки или оптическая ось аэрофотоаппарата отклонилась на поперечный угол наклона  $\omega$ . Приведет к изменению поперечного перекрытия на величину  $\Delta q$ .

2. Елочка разворота аэрофотоаппарата (рис. 2). Елочка разворота вызвана ошибкой в развороте аэрофотоаппарата (АФА) на угол упреждения (УУ).

3. Елочка рысканья (рис. 3). Вызывается плохой стабилизацией самолета по курсу следования или случайным разворотом самолета в момент экспозиции.

4. Елочка доворотов (рис. 4). Этот вид елочки обусловлен стремлением штурмана удержаться на оси маршрута. В этом случае изменяется знак елочки.

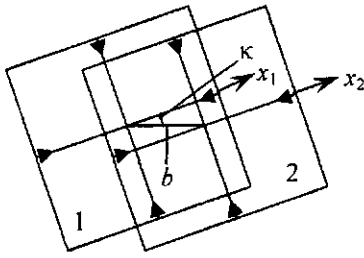


Рис. 2. Елочка разворота

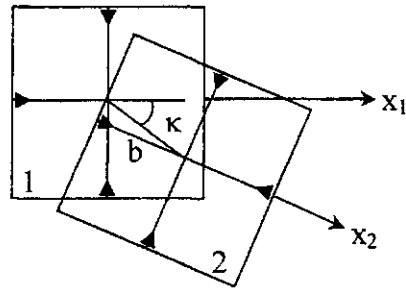


Рис. 3. Елочка рысканья

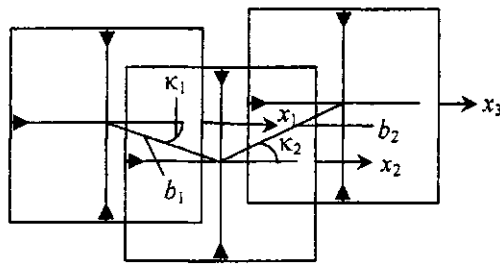


Рис. 4. Елочка доворотов

Из перечисленных причин величина елочки зависит от размера фокусного расстояния аэрофотоаппарата в случае отклонения оптической оси на поперечный угол наклона, т.е. первый вариант.

Ошибка в поперечном перекрытии за поперечный угол наклона снимка  $\omega$  может быть рассчитана по формуле [2]:

$$\delta q, \% = \frac{100 \sin \omega}{2 \sin \beta \cdot \cos(\beta + \omega)}, \tag{11}$$

а линейное отклонение  $\Delta q$  (см. рис. 1) составит [2]:

$$\Delta q = \frac{l \sin \omega}{2 \sin \beta \cdot \cos(\beta + \omega)}. \tag{12}$$

Величину угла  $\beta$  можно найти по поперечной стороне снимка  $l_y$  на основании рисунка 5 по формуле:

$$\beta = \arctg \frac{l_y}{2f}. \tag{13}$$

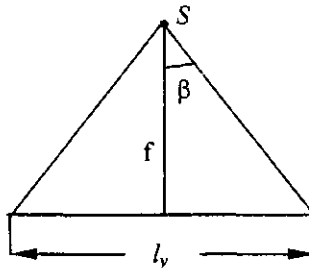


Рис. 5. К определению угла  $\beta$

Рассчитаем величину угла  $\beta$  для аэрофотоаппаратов с разными фокусными расстояниями  $f$  и форматами кадра  $l$ . Результаты расчета приведены в таблице 3.

Результаты расчета

Таблица 3

Формат кадра, l, см	18 × 18						23 × 23				
	f, мм	70	100	140	200	350	500	88	153	213	303
β, °		52 07	42 00	32 44	24 13	14 25	10 12	52 08	36 56	28 22	20 47

Для полученных параметров вычислим величины уклонов Δq по формуле (12), приняв поперечные углы наклона снимков ω = 0,5°, 1°, 2° и 3°. Результаты расчета Δq (в мм) для снимков с форматом кадра 18 × 18 см приведены в таблице 4, а с форматом кадра 23 × 23 см – в таблице 5.

Величины уклонов Δq в мм

Таблица 4

f, мм	ω, °			
	0,5	1	2	3
	Δq			
70	1,63	3,32	6,79	10,43
100	1,59	3,22	6,52	9,55
140	1,73	3,50	7,07	10,72
200	2,10	4,24	8,54	12,90
350	3,25	6,56	13,16	19,81
500	4,50	9,07	18,15	27,30

Величины уклонов Δq в мм

Таблица 5

f, мм	ω, °			
	0,5	1	2	3
	Δq			
88	2,09	4,25	8,67	13,30
153	2,07	4,25	8,59	13,05
213	2,041	4,86	9,79	14,83
303	3,85	6,10	12,27	18,52

По полученным величинам Δq и на основании рисунка 1 получим значение угла елочки κ по формуле:

$$\sin \kappa = \frac{\Delta q}{b}, \tag{14}$$

где b – базис фотографирования в масштабе снимка, который при 60 % продольном перекрытии для формата кадра 18 × 18 составляет 72 мм и при формате кадра 23 × 23 см – 92 мм.

Результаты расчетов по формуле (14) для формата кадра 18 × 18 см приведены в таблице 6, а для формата кадра 23 × 23 – в таблице 7.

Результаты расчетов

Таблица 6

ω, °	f, мм					
	70	100	140	200	350	500
	κ, °					
0,5	1,2	1,2	1,4	1,7	2,6	3,4
1	2,6	2,6	2,8	3,4	5,2	7,2
2	5,3	5,3	5,6	6,8	10,5	14,5
3	8,3	8,0	8,6	10,3	16,0	22,3

Результаты расчетов

Таблица 7

ω, °	f, мм			
	88	153	213	303
	κ, °			
0,5	1,3	1,3	1,5	2,4
1	2,7	2,7	3,0	3,9
2	5,4	5,4	6,1	7,7
3	8,3	8,2	9,4	11,6

В таблицах 6 и 7 рассчитаны величины елочки, вызванные только наклоном оптической оси. На практике могут одновременно возникнуть несколько видов елочки, и при этом в различных сочетаниях, что должно быть учтено в Кодексе. Для сопоставления данных таблиц 2 и 6 сведем их вместе в таблицу 8.

Таблица 8

Сопоставление данных таблиц 2 и 6

$f$ , мм	Допуск к, °	Значения елочки в градусах при разных углах $\omega$ , °			
		0,5°	1°	2°	3°
100 и меньше	5	1,2	2,6	5,3	8,0
140	7	1,4	2,8	5,6	8,6
200	10	1,7	3,4	6,8	10,3
350	12	2,6	5,2	10,5	16,0
500	14	3,4	7,2	14,5	22,3

Учитывая, что в допустимое значение елочки входит влияние многих факторов, и сравнивая его с рассчитанными значениями, следует заключить, что допуск в Кодексе [1] справедлив для случая выполнения аэрофотосъемки с гиросtabilизирующей установкой, так как только в этом случае получим углы наклона снимка, не превышающие 1°, а для больших углов наклона возможны случаи, когда елочка превысит допуск.

В Беларуси аэрофотосъемка выполняется аэрофотоаппаратом RC-30 с фокусным расстоянием  $f = 153$  мм и форматом кадра  $23 \times 23$  см. Как видно из данных таблицы 7, значение елочки может достигнуть значительных величин, учитывая, что гиросtabilизирующая установка не всегда работает в ходе аэрофотосъемки.

При рассмотрении требований к качеству аэрофотосъемочных маршрутов, предложенных Кодексом, отметим недостатки.

Для определения непрямолинейности маршрутов Кодексом предложено соединить главные точки прямой линией начального и конечного снимков и измерить наибольшие отклонения от прямой. Но на накидном монтаже (рис. 6) невозможно определить местоположение главных точек, так как снимки смонтированы, а перекрывающиеся части снимков закрывают положение главных точек.

Кроме того, главные точки на снимках никак не отображаются.

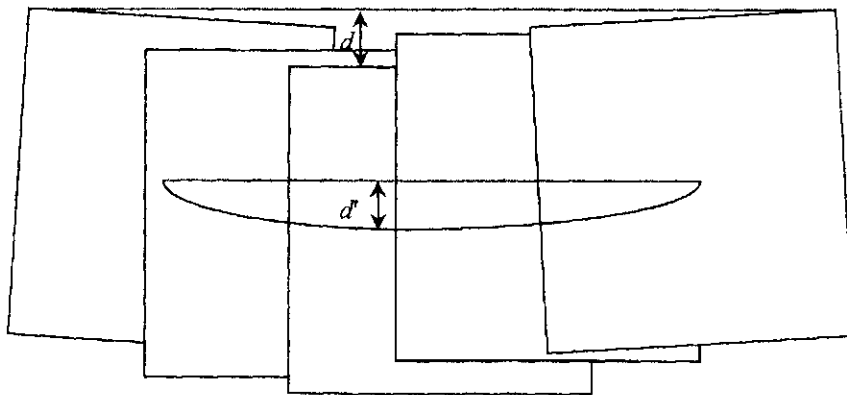


Рис. 6. Схема накидного монтажа

Считаем, что измерения должны производиться по крайним углам снимков, так как из рисунка 6 видно, что величины отклонений  $d$  и  $d'$  будут одинаковы.

**Заключение.** Предложенный Кодексом технический контроль материалов аэрофотосъемки содержит ошибки. Не все вопросы рассмотрены достаточно подробно. Технический кодекс не предполагает использование аэрофотоаппаратов, применяемых в Беларуси в настоящее время.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технический кодекс по геодезическим работам / Комитет по земельным ресурсам геодезии и картографии. – Минск, 2006. – 28 с.
2. Аэрофотосъемочные работы / А.А. Попов [и др.]. – М.: Транспорт, 1984. – 200 с.
3. Савиных, В.П. Аэрокосмическая фотосъемка / В.П. Савиных, А.С. Кучко, А.Ф. Стеценко. – М.: Картгеоцентр, 1997. – 378 с.

Поступила 12.05.2008