



Лабораторная работа 2. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТА ЛЁТНОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

Исходные данные и материалы:
топографическая карта масштаба 1:25000;
линейка.

Задание: обосновать технические показатели плановой аэрофотосъемки для создания крупномасштабных планов (по вариантам 1:2000 или 1:5000); составить задание на аэрофотосъемку и проект лётносъемочных работ.

Порядок и методика выполнения

1. Обоснование технических показателей плановой аэрофотосъемки

К техническим показателям плановой аэрофотосъемки относятся: масштаб аэрофотосъемки m ; фокусное расстояние аэрофотоаппарата f ; высота фотографирования над средней плоскостью участка H и над уровнем моря H_0 ; продольное P_x и поперечное перекрытия P_y аэрофотоснимков.

1.1. Определение масштаба аэрофотосъемки, фокусного расстояния АФА и высоты фотографирования

В общем случае с экономической точки зрения масштаб фотографирования должен быть всегда мельче масштаба изготавливаемой карты, а планово-высотная геодезическая привязка аэроснимков должна быть как можно реже. В то же время точность изготовленной топографической карты, установленная действующими инструкциями, должна быть обеспечена.

Масштаб аэрофотосъемки при создании контурной части планов и карт выбирают обычно в 2–5 раз меньше масштаба будущей карты. Топографическая съемка в крупных масштабах имеет особенности, которые необходимо учитывать при составлении технических проектов и выполнении работ.

Во-первых, при масштабах аэрофотосъемки, в 3–4 раза более мелких по сравнению с масштабом создаваемого плана, начинают сильно сказываться ошибки опознавания и накальвания на аэрофотоснимках точек планового геодезического обоснования.

С целью уменьшения этих ошибок при опознавании и наколке точек планового геодезического обоснования используют аэрофотоснимки (или их фрагменты), увеличенные до масштаба создаваемого плана. Во-вторых, при аэрофотосъемке застроенных территорий с целью составления по аэрофотоснимкам контурных планов и карт фокусное расстояние аэрофотоаппарата выбирают в зависимости от этажности и плотности застройки. Для того чтобы не было необходимости учитывать

разномасштабность изображения крыш и основания построек при составлении фотопланов, фокусные расстояния АФА выбирают с учетом следующего:

для фотопланов масштаба 1:5000

$$f \geq \frac{Lh}{20}, \quad (2.1)$$

для фотопланов масштаба 1:2000

$$f \geq \frac{Lh}{3,2}, \quad (2.2)$$

где h – преобладающая высота построек;

L – преобладающая протяженность построек.

Масштаб аэрофотосъемки выбирают предельно мелкий, при котором обеспечивается требуемая точность создания планов и карт.

В расчетно-графической работе при создании планов и карт в масштабе 1:2000 рекомендуются следующие диапазоны масштабов аэрофотосъемки – 1:5100 – 1:8000. Аэрофотосъемку выполняют аэрофотоаппаратами с фокусными расстояниями 100, 140, 150 и 153 мм.

Значение масштаба аэрофотосъемки, тип аэрофотоаппарата и другие исходные данные студенты выбирают из табл. 2.1 согласно номеру варианта.

Высоту фотографирования вычисляют по формуле

$$H = fm \quad (2.3)$$

Высота фотографирования для современных аэрофотосъемочных самолетов составляет от 200 до 11000 м.

Таблица 2.1. Исходные данные

Номер варианта	Масштаб аэрофотосъемки	f , мм	Тип АФА	Тип аэрофото-съемочного самолета	Формат кадра, мм
0	1:7000	140	ТЭ - 140 М	АН - 30	180×180
1	1:5100	140	ТЭ - 140 М	АН - 24	180×180
2	1:5200	153	RC Wild / Leica	АН - 30	230×230
3	1:5300	140	ТЭ - 140 М	АН - 2	180×180
4	1:5400	100	ТЭ - 100 М	АН - 24	180×180
5	1:5500	100	ТЭС - 10 М	АН - 30	180×180
6	1:5600	100	ТЭС - 10 М	АН - 24	180×180
7	1:5700	140	ТЭ - 140 М	АН - 2	180×180
8	1:5800	150	АТ - 204 (РБ)	АН - 24	230×230
9	1:5900	100	ТЭС - 10 М	АН - 30	180×180

10	1:6000	140	ТЭ - 140 М	АН - 2	180×180
11	1:6100	100	ТЭС - 10 М	АН - 2	180×180
12	1:6200	153	RC Wild / Leica	АН - 24	230×230
13	1:6300	100	ТЭС - 10 М	АН - 30	180×180
14	1:6400	140	ТЭ - 140 М	АН - 24	180×180
15	1:6500	100	ТЭС - 10 М	АН - 2	180×180
16	1:6600	140	ТЭ - 140 М	АН - 30	180×180
17	1:6700	100	ТЭС - 10 М	АН - 24	180×180
18	1:6800	140	ТЭ - 140 М	АН - 30	180×180
19	1:6900	100	ТЭ - 100 М	АН - 2	180×180
20	1:7000	153	RC Wild / Leica	АН - 30	230×230
21	1:7100	100	ТЭС - 10 М	АН - 24	180×180
22	1:7200	100	ТЭ - 140 М	АН - 24	180×180
23	1:7300	140	ТЭ - 140 М	АН - 2	180×180
24	1:7400	100	ТЭС - 10 М	АН - 30	180×180
25	1:7500	100	ТЭ - 100 М	АН - 30	180×180

1.2. Разбивка объекта на съемочные участки

Границами съемочных участков служат рамки съемочных трапеций. Аэрофотосъемку на съемочных участках выполняют непрерывными маршрутами в один-два полета. В равнинных районах, когда в пределах площади, подлежащей аэрофотосъемке, выполняется условие съемочные участки проектируются с максимальными по условиям самолетовождения длинами маршрутов.

$$\frac{A_{\max} - A_{\min}}{H} \leq 0,2. \quad (2.4)$$

В формуле (2.4) A_{\max} и $-A_{\min}$ отметки местности с максимальной и минимальной высотой соответственно; H – высота фотографирования.

Для средних условий самолетовождения длина съемочных маршрутов в километрах определяется в зависимости от знаменателя масштаба фотографирования m по формуле

$$D = 0,002m. \quad (2.5)$$

Если на площади объекта съемки выполняется условие (2.4), то для каждой съемочной трапеции вычисляют средний уровень трапеции:

$$\frac{A_{\max} + A_{\min}}{H} = A_{\text{cp}} \quad (2.6)$$

и критерий рельефа

$$\frac{h}{H} = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{f m}. \quad (2.7)$$

Съемочные трапеции, для которых $\frac{h}{H} \leq 0,2$ могут объединяться в съемочные участки при условии, чтобы разница в высотах их средних уровней не превысила

$$\left| A_{\text{cp1}} - A_{\text{cp2}} \right| \leq 0,1H. \quad (2.8)$$

Если последнее требование не выполняется, то каждую съемочную трапецию снимают отдельно.

Съемочной трапецией является топографическая трапеция определенного масштаба в зависимости от масштаба фотографирования (табл. 2.2).

Таблица 2.2 Масштабы съемочных трапеций в зависимости от масштаба фотографирования

Масштаб фотографирования	Масштаб топографической трапеции, являющейся съемочной трапецией
1:20000 – 1:35000	1:50000
1:10000 – 1:19000	1:25000
1:5000 – 1:9500	1:10000
1:1000 – 1:4500	1:5000

Например, при масштабе аэрофотосъемки 1:5500 масштаб топографической трапеции, которая является съемочной трапецией, равен 1:10000.

Для выполнения задания студенты переносят с топографической карты масштаба 1:25000 на кальку границы участка съемки (границы топографической трапеции). В нашем случае для выбранных масштабов фотографирования съемочной трапецией является трапеция масштаба 1:10000. Разбивка объекта съемки в рамках трапеции масштаба 1:25000 на съемочные участки приведена на рис. 2.1.

Amin= 109.7	Amax= 198.4	Amin= 144.2	Amax= 213.8
I		II	
$\frac{h}{H}=0,1$	Acp= 154,0	$\frac{h}{H}=0,1$	Acp= 179,0
Amin= 121.8	Amax= 219.2	Amin= 102.1	Amax= 211.4
III		IV	
$\frac{h}{H}=0,1$	Acp= 170,5	$\frac{h}{H}=0,1$	Acp= 159,0

Рис. 2.1. Разбивка объекта на съемочные участки

Кроме высоты фотографирования при аэрофотосъемке необходимо знать абсолютную и относительные высоты. Абсолютная высота фотографирования над уровнем моря определяется по формуле

$$H_o = H + A_{cp}, \quad (2.9)$$

где A_{cp} – высота средней плоскости съемочного участка.

Высоту средней плоскости находят по формуле

$$A_{cp} = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2}. \quad (2.10)$$

Относительную высоту полета определяют по формуле:

$$H_{отн} = H + A_{cp} - A_{aэр}, \quad (2.11)$$

где $A_{aэр}$ – принимают равной 200 м.

Для нулевого варианта получим:

$$A_{cp} = 165,6 \text{ м};$$

$$H_o = 980 + 165,6 = 1145,6 \text{ м};$$

$$H_{отн} = 1145,6 - 200 = 945,6 \text{ м}.$$

1.3. Расчет продольных и поперечных перекрытий снимков

Аэрофотосъемку выполняют с взаимным перекрытием смежных аэрофотоснимков одного маршрута, которое называется продольным, и взаимным перекрытием аэрофотоснимков смежных маршрутов, которое называется поперечным. Значение перекрытий выражается в процентах по отношению к размеру аэрофотоснимка.

Минимальное продольное перекрытие снимков, которое требуется для стереофотограмметрической обработки, составляет 56%. В противном случае образуются фотограмметрические разрывы, при которых аэрофотоснимки начинают терять зону тройного продольного перекрытия. Минимальный процент поперечного перекрытия составляет 20%.

Значения продольных и поперечных перекрытий снимков вычисляют в зависимости от масштаба аэрофотосъемки и рельефа местности по формулам, приведенным в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Значения продольных и поперечных перекрытий снимков

Масштаб аэрофотосъемки 1:m	Продольное перекрытие $P_x, \%$	Поперечное перекрытие $P_y, \%$
1:1000–1:4500	$65 + 50 \frac{\Delta h}{H}$	$40 + 60 \frac{\Delta h}{H}$

1:5000–1:10000	$64+50 \frac{\Delta h}{H}$	$36+64 \frac{\Delta h}{H}$
1:10000–1:24000	$62+38 \frac{\Delta h}{H}$	$34+66 \frac{\Delta h}{H}$
1:25000–1:34000	$62+38 \frac{\Delta h}{H}$	$32+68 \frac{\Delta h}{H}$
1:35000 и мельче	$62+8 \frac{\Delta h}{H}$	$30+70 \frac{\Delta h}{H}$

В табл. 3 величина Δh – минимальное превышение над средней плоскостью съемочного участка. Значение продольного и поперечного перекрытия округляют до целого в сторону увеличения.

Для нулевого варианта получим: $\Delta h = 56 \text{ м}$; $P_x = 64 + 50 \frac{56}{980} = 67\%$;
 $P_y = 36 + 64 \frac{56}{980} = 40\%$.

2. Составление задания на аэрофотосъемку

Составление задания на аэрофотосъемку включает в себя расчет интервала фотографирования, числа маршрутов, количества аэрофотоснимков, летного времени на аэрофотосъемку объекта.

2.1. Расчет базиса фотографирования и расстояния между маршрутами

Базисом фотографирования B_x называют расстояние между началами экспозиций двух смежных снимков.

Базис фотографирования B_x вычисляют по формуле

$$B_x = \frac{l(100 - P_x)}{100} m = l \left(1 - \frac{P_x}{100} \right) m, \quad (2.12)$$

где l – формат аэроснимка.

Аналогично формулам расчета базиса фотографирования вычисляют расстояния между съемочными маршрутами B_y :

$$B_y = \frac{l(100 - P_y)}{100} m = l \left(1 - \frac{P_y}{100} \right) m, \quad (2.13)$$

Выдерживание в полете рассчитанных базиса фотографирования и расстояний между маршрутами позволит получить аэрофотоснимки с заданными процентами продольного и поперечного перекрытий.

Для нулевого варианта получим:

$$B_x = 0,18 \left(1 - \frac{67}{100} \right) 7000 = 415,8 \approx 416 \text{ м}; B_y = 0,18 \left(1 - \frac{40}{100} \right) 7000 = 756 \text{ м}.$$

2.2. Расчет числа аэрофотоснимков.

Количество съемочных маршрутов вычисляют по формуле

$$n_M = \frac{L_Y}{B_Y} + 1, \quad (2.14)$$

где L_Y – ширина съёмочного участка.

Число снимков в маршруте

$$n_{CH} = \frac{L_X}{B_X} + 2, \quad (2.15)$$

где L_X – длина съёмочного участка.

Ширину и длину съёмочного участка определяют по топографической карте.

В нашем случае для топографической карты масштаба 1:25000

$$L_Y = 9300 \text{ м};$$

$$L_X = 8050 \text{ м};$$

Число маршрутов и число снимков округляют до целого в сторону увеличения.

Общее число аэрофотоснимков

$$N = n_{CH} n_M. \quad (2.16)$$

Площадь съёмочного участка вычисляется по формуле

$$P_{\text{уч}} = L_X L_Y \quad (2.17)$$

Приведем расчеты для нулевого варианта:

$$n_M = \frac{9300}{756} + 1 = 13,3 \approx 14 \text{ маршрутов};$$

$$n_{CH} = \frac{8050}{416} + 2 = 21,3 \approx 22 \text{ снимка};$$

$$N = 22 \cdot 14 = 308 \text{ снимков};$$

$$P_{\text{уч}} = 749 \text{ (га)}.$$

2.3. Интервал фотографирования

В полете для обеспечения заданного продольного перекрытия измеряют не базис фотографирования, а время, за которое самолет пролетает расстояние, равное базису фотографирования, т. е. время между соседними моментами экспозиций. Это время называют интервалом фотографирования τ и вычисляют по формуле

$$\tau = \frac{B_x}{W}, \quad (2.18)$$

где W – путевая скорость самолета, выбирается в зависимости от диапазона скоростей для заданного самолета (таблица 2.4).

Таблица 2.4. Лётно-технические характеристики воздушных судов

Характеристики	ТУ-134	АН-24	АН-30	ИЛ-14	АН-2
Крейсерская скорость, км/ч	600–880	450–475	350–400	290–320	150–190
Дальность полета, км	2900	2000	2300	2100	1200
Наличие люков	-	-	3	3	1
Примерный часовой расход горючего, л/ч	2900	1000	1100	600	200

Для нулевого варианта получим:

$$\tau = \frac{416m}{350 \frac{\text{км}}{\text{ч}}} = \frac{416}{350 \frac{1000}{3600}} = 4,2 \text{ с.}$$

Полученную величину интервала фотографирования устанавливают на командном приборе аэрофотоаппарата, и механизм аппарата его автоматически выдерживает.

Определяют максимальную выдержку АФА, при которой смаз изображения на аэрофотоснимке не превысит допустимой величины $\delta_{\text{дв}} = 0,1$ мм по следующей формуле:

$$t_s = \frac{\delta_{\text{дон}} \cdot m}{K_t w}, \quad (2.19)$$

где $K_t = \frac{m}{M}$ – коэффициент увеличения.

Приведем расчеты для нулевого варианта:

$$t_s = \frac{0,1 \text{ мм} \cdot 7000}{3,5350 \frac{\text{км}}{\text{ч}}} = \frac{\frac{0,1}{1000} \cdot 7000}{3,5350 \frac{1000}{3600}} = \frac{0,7}{340,2} = \frac{1}{486} \text{ с.}$$

Полученную выдержку сравнивают с диапазоном возможных выдержек АФА. В случае недопустимой выдержки уменьшают путевую скорость самолета. Затем уточняют значение интервала фотографирования.

2.5. Расчет времени, необходимого для выполнения лётносъёмочных работ на участке

Время, необходимое для аэрофотосъёмки участка, рассчитывают по формуле

$$\Sigma t_c = \frac{n_M(n_{CH} - 1)B_X}{W} + \Sigma t_3, \quad (2.20)$$

где n_M – число маршрутов;

n_{CH} – число снимков;

W – путевая скорость самолета;

$\Sigma t_3 = (n_M - 1)t_3$ – время захода самолета на следующий маршрут.

Величина t_3 – время захода самолета на следующий маршрут, ее принимают равной 4–5 мин.

При расчете времени, необходимого для выполнения лётносъёмочных работ, не учитывается время на перелет от аэродрома до участка съёмки. Для нулевого варианта получим:

$$\Sigma t_3 = (14 - 1) \cdot 5 = 65 \text{ мин} = 1,1 \text{ ч};$$

$$\Sigma t_c = \frac{14(22 - 1) \frac{416}{1000}}{350} + 1,1 = 1,4 \text{ ч}.$$

3. Составление проекта лётносъёмочных работ

На основе выполненных расчетов составляют задание на аэрофотосъёмочные работы, в котором указываются:

- географические и прямоугольные координаты границ объекта;
- масштаб аэрофотосъёмки;
- высота полета;
- величины продольных и поперечных перекрытий;
- тип АФА и его фокусное расстояние;
- размер стороны аэрофотонегатива;
- число маршрутов и общее количество аэрофотоснимков;
- съёмочное время.

По требованию лётносъёмочного отряда дополнительно в задании могут быть приведены тип и количество аэрофотоплёнки, количество горюче-смазочных материалов.

По завершении расчетов готовят полетную карту, которая является основным документом для прокладки курса и производства аэрофотосъёмки и предназначена для штурмана-аэрофотосъёмщика. На полетную карту наносят красной тушью границы объекта и синей тушью – границы залета с учетом перекрытий со смежными объектами.

Северный маршрут прокладывается по границе объекта и далее на расстоянии V_y наносится ось смежного маршрута и последующих маршрутов. Оси маршрутов продолжают за границы участка на один-полтора базиса, таким образом главная точка первого снимка маршрута наносится на расстоянии V_x к западу от границы объекта, тогда главная точка второго снимка будет располагаться на границе объекта. Это обеспечит последующую сводку результатов фотограмметрической обработки по границам смежных съемочных участков.

Оформление проекта лентосъемочных работ выполняется красной тушью. Находят центры трапеций на пересечении диагоналей, которые в данном случае будут являться главными точками снимков.

Главные точки снимков оформляются кружком диаметром 2–3 мм. Соединив главные точки снимков одного маршрута линией толщиной 0,1 мм, получаем ось маршрута.

Дополнительно на полетную карту наносят все точки государственной геодезической сети (треугольник с размером стороны 5 мм), замаркированные опознаки (четыреугольник со стороной 5 мм). Вдоль оси каждого маршрута в начале и конце отмечают характерные контуры и местные предметы, которые могут использоваться штурманом в качестве ориентиров. Ориентиры оформляют кружками диаметром 1 см тушью красного цвета.

Оформленный проект лентосъемочных работ прилагается к заданию на аэрофотосъемку.