

ПЛАНИРОВАНИЕ АЭРОСЪЕМКИ В ЭПОХУ ЦИФРОВЫХ КАМЕР ИЛИ ОТ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ К УКЛОНУ ЗДАНИЙ

Ю.Г. Райзман (VisionMap, Израиль)

В 1980 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист», а в 1985 г. — аспирантуру ЦНИИГАиК по специальности «фотограмметрия». После окончания аспирантуры работал в Ташкентском аэрогеодезическом предприятии ГУГК СССР, с 1992 г. — в Геодезической службе Израиля. С 2008 г. работает в компании VisionMap Ltd., в настоящее время — заместитель директора по НИР.

В аналоговую эру аэросъемки, которая продлилась довольно долго, около 100 лет, при планировании съемочных работ для обеспечения требуемого качества создаваемых ортофотопланов определяющими были, в основном, такие параметры, как продольное и поперечное перекрытие между снимками и маршрутами и фокусное расстояние камеры. Причиной тому являлась однотипность используемых аэрокамер. Фотограмметрические камеры имели, преимущественно, два стандартных размера снимка — 24x24 см или 18x18 см и стандартные фокусные расстояния — 150, 210, 300 мм для первого размера снимков и 70, 100, 140, 200, 250

и 350 мм для второго размера снимков.

В цифровую эпоху аэросъемки, которая длится уже более 10 лет, ситуация изменилась. В настоящее время предлагаются камеры с различными размерами кадра, разрешающей способностью ПЗС-матрицы (CCD — Charge-Coupled Device) и фокусными расстояниями объективов.

В статье предлагается универсальный подход для планирования аэросъемки и производства ортофотопланов в современную эпоху цифровой фотограмметрии.

На рис. 1 представлена схема планирования аэросъемки, на которой введены следующие обозначения:

— FOV — угол поля зрения камеры в поперечном направлении к линии съемки, обеспечивающий на местности ширину полосы съемки W ;

— 2α — допустимый угол аэросъемки для ортофото в поперечном направлении к линии съемки, обеспечивающий на местности ширину полосы съемки W_0 (только эта часть снимка используется при создании ортофотопланов);

— D — расстояние между маршрутами;

— Q — поперечное перекрытие.

В расчетах также участвует допустимый угол аэросъемки вдоль линии съемки (2λ), который не показан на рис. 1. Значение этого угла обеспечивает заданное продольное перекрытие (P). Обычно, его значение принимается из условия $2\lambda < 2\alpha$.

Эта схема, в принципе, справедлива для всех типов камер, только значения параметров будут меняться в зависимости от выбранного типа.

На рис. 2 представлено влияние допустимых углов аэросъемки ($2\alpha_1$ и $2\alpha_2$) на уклон («развал») зданий и размер скрытого изображения (L_1 и L_2) на ортофото.

Для современных камер угол поля зрения (FOV) варьируется в

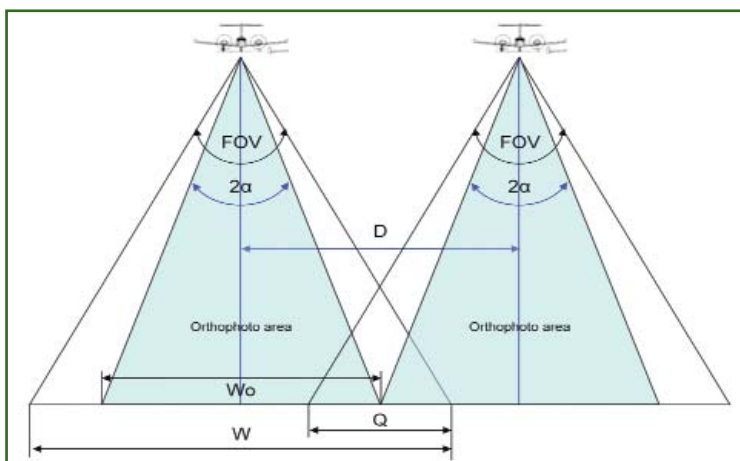


Рис. 1
Схема планирования аэросъемки

пределах 27–110°. Коэффициент уклона зданий (K_u) на ортофото при максимально допустимом угле аэросъемки составит: $K_u = \text{tg}(\alpha)100\%$ (в поперечном направлении) и $K_u = \text{tg}(\lambda)100\%$ (в продольном направлении).

При одинаковой высоте зданий сохраняется следующее условие: если $2\alpha_2 > 2\alpha_1$, то $L_2 > L_1$.

Как видно на рис. 2, чем больше допустимый угол съемки, тем больше уклон зданий и скрытое пространство. На самом деле, именно допустимый угол съемки и, как следствие, коэффициент уклона зданий являются основными геометрическими параметрами, определяющими измерительные качества и читаемость ортофотопланов.

При дальнейшем рассмотрении возьмем за основу рекомен-

дуемые значения поперечного и продольного перекрытия для аналоговых камер. Как известно из действующих инструкций и

опыта, при съемке городских территорий и создании ортофото рекомендуется использовать камеру с фокусным расстоянием

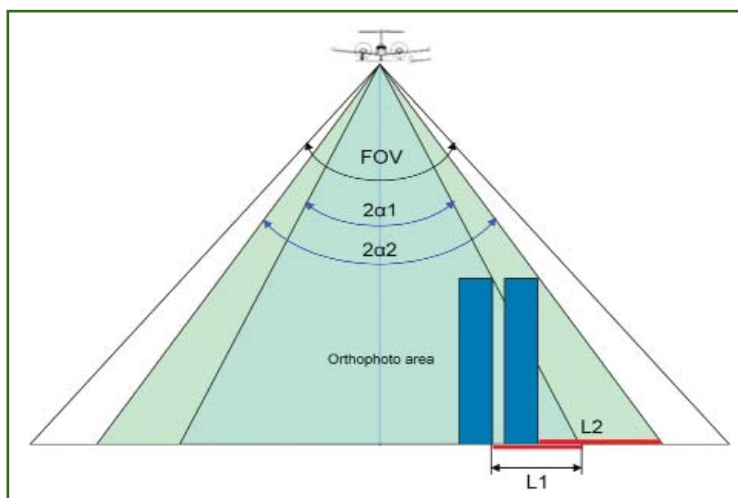


Рис. 2
Уклон зданий и скрытое изображение на ортофото

Допустимый угол аэросъемки и уклон зданий

Таблица 1

Наименование аэрокамеры / Значение параметров съемки	A3	UltraCam Eagle	UltraCamXp	UltraCamXp WA	DMC-II250	ADS 80	RC-30/RMK-TOP		
Фокусное расстояние, мм	300	210	80	100	70	112	62,77	150	300
Размер пикселя, мкм	9	5,2	5,2	6	6	5,6	6,5	15	15
Поперечный размер снимка, пиксель	62 000	20 010	20 010	17 310	17 310	17 216	12 000	16 000	16 000
Продольный размер снимка, пиксель	8000	13 080	13 080	11 310	11 310	14 656	7530	16 000	16 000
Площадь снимка, Мпиксель	496	262	262	196	196	252	90	256	256
Угол поля зрения (поперечный), °	110	27,8	66,1	54,9	73,1	46,6	63,7	77,3	43,6
Угол поля зрения (продольный), °	13,4	18,4	46,1	37,5	51,7	40,2	42,6	77,3	43,6
Продольное перекрытие 60%									
Допустимый продольный угол (2λ), °	5	7	19	15	22	17	18	35	18
K_u в продольном направлении, %	5	6	17	14	19	15	16	32	16
Поперечное перекрытие 40%									
Допустимый поперечный угол (2α), °	80	17	43	35	48	29	41	51	27
K_u в поперечном направлении, %	84	15	39	31	45	26	37	48	24
Поперечное перекрытие 25%									
Допустимый поперечный угол (2α), °	93	21	52	43	58	36	50	62	33
K_u в поперечном направлении, %	105	19	49	39	56	32	47	60	30

300 мм, в то время как на открытой местности можно применять камеру с фокусным расстоянием в 150 мм. Продольное перекрытие (P) в обоих случаях предполагается равным 60%. Поперечное перекрытие (Q) задается: 25–30% для открытой местности и 35–40% — для городской. Ортофото строится из части снимка (W_0), ограниченной линиями «порезов», проходящими примерно в середине зон перекрытия.

При проведении сравнительных вычислений для цифровых камер удобно перейти от метрических единиц измерения (мм и см) к пикселям. Для аналоговых камер предположим, что стандартный снимок сканируется с разрешением 15 мкм. В этом случае размер кадра в пикселях составит 16 000x16 000 пикселей, а фокусное расстояние — 10 000 пикселей (150 мм) и 20 000 пикселей (300 мм). Зависимость между допустимым углом аэросъемки и перекрытием вычисляется по следующим формулам:

$$2\alpha = 2\arctg(Lq(1 - Q)/2F)$$

$$2\lambda = 2\arctg(Lp(1 - P)/2F),$$

где Lq , Lp — размер снимка в пикселях в поперечном и продольном направлениях съемки;

F — фокусное расстояние в пикселях.

Основываясь на этих формулах и данных о различных типах камер, были вычислены значения допустимого угла аэросъем-

ки и коэффициент уклона зданий в зависимости от величины продольного и поперечного перекрытий (табл. 1).

Результаты расчетов показывают, что при одинаковых значениях продольного и поперечного перекрытий величины допустимого угла аэросъемки и, как следствие, скрытого пространства и уклона зданий на ортофотоплане значительно различаются.

Коэффициент уклона зданий для разных камер варьируется в следующих пределах:

— 5–32% (для стандартного продольного перекрытия в 60%);

— 15–84% (для поперечного перекрытия 40%);

— 19–105% (для поперечного перекрытия 25%).

Чем меньше уклон зданий, тем больше полученный ортофотоплан приближается к «истинному» ортофотоплану, тем лучше его читаемость и измерительные качества.

Возьмем из табл. 1 значения коэффициентов уклона зданий 24% и 60% (для аналоговых камер), соответствующие поперечному перекрытию 40% и 25%, и рассчитаем по ним поперечное перекрытие для всех камер (табл. 2).

Как видно из табл. 2, для того, чтобы получить уклон зданий с $K_u = 24\%$, поперечное перекрытие для разных камер должно находиться в пределах от 3% до

80%. Для обеспечения уклона зданий с $K_u = 60\%$, что типично для открытой плоскоравнинной местности, проводить аэросъемку можно только тремя камерами — АЗ, RC-30 и RMK-TOP с фокусным расстоянием 150 мм. Остальные камеры из-за относительно небольшого поля зрения не позволяют выполнять измерения с уклоном зданий с $K_u = 60\%$, что, в принципе, соответствует 25% поперечному перекрытию для аналоговых камер.

Рассмотрим возможные результаты аэросъемки для открытой местности со следующими параметрами: продольное перекрытие — не меньше 60%, поперечное перекрытие — не меньше 25%, разрешение на местности — 25 см, допустимый угол аэросъемки — не больше 60°, скорость самолета при аэросъемке — 250 узлов (463 км/ч).

Данные, полученные в табл. 3, рассчитаны следующим образом:

— продольное перекрытие определено по возможной частоте фотографирования (FPS) и скорости самолета;

— поперечное перекрытие и допустимый угол аэросъемки взаимосвязаны и зависят от поля зрения камеры (рис. 1): поперечное перекрытие не может быть меньше 25%, в то время как допустимый угол аэросъемки не может быть больше 60°.

Как видно из расчетов, снова только три камеры (АЗ,

Поперечное перекрытие, соответствующее заданному наклону зданий

Таблица 2

Наименование аэрокамеры / Значение параметров съемки	АЗ	UltraCam Eagle	UltraCamXp	UltraCamXp WA	DMC-II250	ADS 80	RC-30/RMK-TOP
Фокусное расстояние, мм	300	210 80	100	70	112	62,77	150 300
Поперечный угол поля зрения, °	110	27,8 66,1	54,9	73,1	46,6	63,7	77,3 43,6
Городская территория ($K_u = 24\%$, $2\alpha = 27^\circ$)							
Поперечное перекрытие, %	80	3 63	54	68	44	61	70 40
Межселенная территория ($K_u = 60\%$, $2\alpha = 62^\circ$)							
Поперечное перекрытие, %	60	-142 8	-16	19	-39	3	25 -50

Расчет результатов аэросъемки								Таблица 3	
Наименование аэро-камеры / Значение параметров съемки	A3	UltraCam Eagle		DMC-II250	UltraCamXp WA	UltraCamXp	RC-30/RMK-TOP	ADS 80	
Фокусное расстояние, мм	300	210	80	112	70	100	300	150	62,77
Поперечный угол поля зрения, °	110	27,8	66,1	46,6	73,1	54,9	43,6	77,3	63,7
Частота фотографирования, снимок/с	7,40	0,56	0,56	0,59	0,50	0,74	—	—	—
Высота фотографирования, м	8333	10 096	3846	5000	2917	4167	5000	2500	2414
Продольное перекрытие, %	60	93	93	94	91	94	60	60	60
Поперечное перекрытие, %	59	25	25	25	25	26	26	28	25
Допустимый угол (2α), °	60	21	52	36	58	42	33	60	50
Площадь снимка, км ²	63,5	16,4	16,4	15,8	12,2	12,2	16,0	16,0	5,6
Расстояние между маршрутами, м	9623	3742	3752	3249	3233	3199	2962	2887	2251

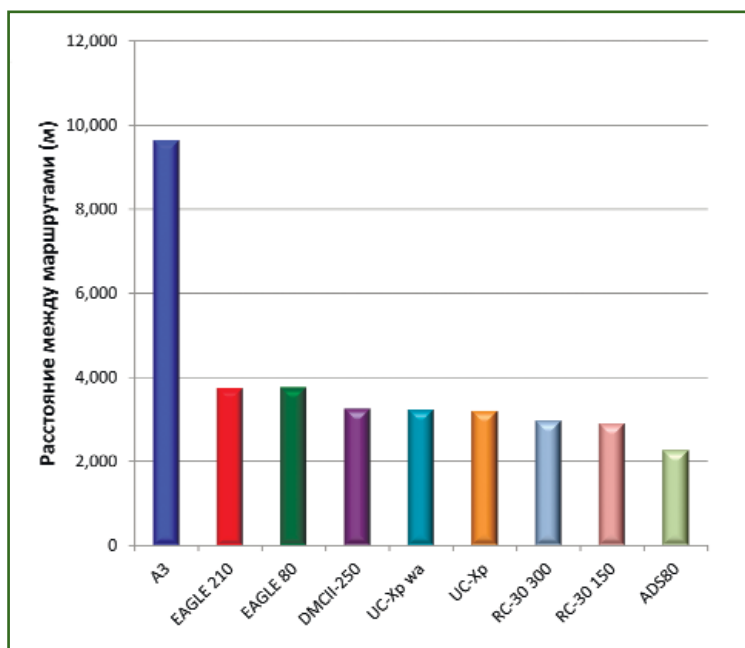


Рис. 3
Расстояние между маршрутами для разных камер

RC-30 и RMK-TOP) позволяют достичь максимально допустимого угла аэросъемки 60°. Камера UltraCamXp WA приближается к этому параметру.

Одинаковые геометрические ограничения на аэросъемку позволяют провести корректный сравнительный анализ между существующими аэрокамерами. Используя данные из табл. 3, был построен график, представленный на рис. 3.

На основании выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Пользователь, устанавливая в техническом задании на создание ортофото такие параметры, как поперечное и продольное перекрытия, и предполагая, что аэросъемка будет выполняться одной из существующих в настоящее время цифровых или аналоговых камер, заведомо обрекает себя на неод-

нозначность относительно измерительных качеств и читаемости получаемого в итоге ортофото.

2. Для получения от разных поставщиков ортофото с одинаковыми измерительными качествами, вместо продольного и поперечного перекрытий необходимо задавать значение допустимого угла аэросъемки или уклона зданий.

3. Понимание геометрических законов планирования аэросъемки позволяет провести корректный анализ существующих аэрокамер и, в конечном итоге, сделать правильный выбор для конкретного проекта. Что, в свою очередь, всегда приводит к экономии материальных средств и времени.

RESUME

There is proposed a modern universal approach to planning and creating aerial orthophotos. It is noted that it is possible to obtain orthophotos of the same measurement properties by the results of aerial surveys using different cameras. To do this, when planning the work the permissible aerial survey angle or allowable buildings grade must be set instead of the longitudinal and latitudinal floors.