

УДК 528.71

РАСЧЕТ РАЗРЕШЕНИЯ ПРИ СКАНИРОВАНИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ СНИМКА

канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА
(Полоцкий государственный университет);
А.В. ИЛЬЮШЕНКО
(Минскремстрой)

Рассматривается сканирование снимков как важный этап технологии создания топографических карт и планов с использованием цифровых фотограмметрических систем. Перед сканированием снимков Инструкцией рекомендуется выполнить расчет оптимального элемента геометрического разрешения исходя из требуемой точности определения плановых координат и высот точек фотограмметрической модели, передачи разрешающей способности исходного снимка, разрешающей способности графического фотоплана. Полагаем, что в Инструкции надо требовать рассчитывать размер разрешения при сканировании для обеспечения качественного дешифрирования. Приводится методика расчета разрешения при сканировании для обеспечения дешифрирования с вероятностью 75 %.

Сканирование снимков является важным этапом технологии создания топографических карт и планов с использованием цифровых фотограмметрических приборов и систем, так как от его качества зависят все последующие процессы обработки цифровых изображений.

Перед сканированием снимков Инструкцией [1] рекомендуется выполнить расчет оптимального элемента геометрического разрешения исходя из следующих факторов: требуемой точности определения плановых координат V_s (0,2 мм) и высот V_z (0,2hc) точек фотограмметрической модели; передачи разрешающей способности исходного снимка R (в мм^{-1}); разрешающей способности графического фотоплана 70 мкм; масштаба карты (плана) 1: M_k , масштаба обрабатываемых снимков 1: M_c , величины фокусного расстояния камеры f , базиса фотографирования на снимке b , высоты сечения рельефа hc .

Величины элементов разрешения составят [1]:

- для обеспечения точности определения плановых координат P_s :

$$P_s = \frac{M_k}{2M_c} V_s; \quad (1)$$

- для обеспечения точности определения высот P_z :

$$P_z = \frac{f}{2bM_c} V_z; \quad (2)$$

- для обеспечения разрешающей способности графических фотопланов P_p :

$$P_p = 70 \frac{M_k}{M_c}; \quad (3)$$

- для обеспечения разрешающей способности снимка P_R :

$$P_R = \frac{0,4}{R}. \quad (4)$$

В формулах (1) и (2) цифра 2 – коэффициент, учитывающий потерю точности из-за процессов обработки [1]: сканирования, опознавания, стереонаведения и измерения точек. За окончательное из разрешений P_s, P_z, P_p, P_R берется их минимальное значение.

В данной работе мы остановимся на рассмотрении вопроса определения геометрического разрешения для обеспечения разрешающей способности R снимка (формула (4)). Чтобы обеспечить качественное дешифрирование важно правильно рассчитать разрешение при сканировании снимков. Воспользуемся примером из Инструкции по фотограмметрическим работам [1].

Если план масштаба 1:2000 с сечением рельефа 1,0 м составляется по аэрофотоснимкам масштаба 1:10000, полученным аэрофотоаппаратом (АФА) формата 18×18 см с фокусным расстоянием 100 мм и разрешающей способностью 40 мм^{-1} , то $P_s = 20$ мкм, $P_z = 14$ мкм, $P_R = 10$ мкм, $P_p = 14$ мкм [1].

Расчеты свидетельствуют, что геометрическое разрешение для обеспечения разрешающей способности снимка получилось $P_R = 10$ мкм. Как видим, мы получили наименьший размер геометриче-

ского разрешения для выполнения качественного дешифрирования, который и должен быть применен для сканирования снимков. Отсканировать снимки с таким разрешением можно только на фотограмметрических сканерах.

Изначально можно обратить внимание на то, что в формуле (4) используют ошибочный коэффициент 0,4. По результатам расчетов в работе [2] был подобран новый коэффициент, равный 0,5.

С учетом исправленного коэффициента формула (4) примет вид [2]:

$$P_R = \frac{0,5}{R}. \quad (5)$$

В Инструкции [1] для сканирования снимков с разрешающей способностью $R = 40 \text{ мм}^{-1}$ получено разрешение 10 мкм, но с учетом нового коэффициента, чтобы получить разрешающую способность 40 мм^{-1} , снимки необходимо сканировать с разрешением 12,5 мкм, что подтверждает следующая формула [3; 4]:

$$R = \frac{1}{2P_R} = \frac{1}{2 \cdot 12,5} = 40 \text{ мм}^{-1}. \quad (6)$$

В этом случае разрешающая способность цифрового изображения будет такая же, как и на снимке. Возможны и более значительные различия в разрешениях при сканировании.

Например, рассчитаем разрешение при сканировании для создания плана масштаба 1:М...1:5000 с сечением рельефа 2,0 м, составляемого по аэрофотоснимкам масштаба 1:м...1:8000, полученным аэрофотоаппаратом (АФА) с форматом кадра $23 \times 23 \text{ см}$, фокусным расстоянием 153 мм и разрешающей способностью $R = 40 \text{ мм}^{-1}$. Результаты приведем в таблице 1.

Таблица 1

Расчет разрешения при сканировании

$P_S = \frac{M_k}{2M_C} V_S$	$P_Z = \frac{f}{2bM_C} V_Z$	$P_P = 70 \frac{M_k}{M_C}$	$P_R = \frac{0,5}{R}$
62,5 мкм	41,6 мкм	43,8 мкм	12,5 мкм

Из таблицы 1 видно, что по четырем формулам для расчета разрешений при сканировании P_S , P_Z , P_P , P_R значение размера пикселя для обеспечения разрешающей способности снимка P_R получили в пять раз меньше, чем при определении P_S . Так как Инструкция требует сканировать снимки с минимальным размером пикселя, то это приведет к значительному увеличению объема информации, а следовательно и к увеличению времени обработки, а в конечном итоге – к повышению цены продукции в целом. Поэтому возникает вопрос, так ли важно обеспечивать разрешающую способность снимка. Правильнее было бы привести в Инструкции расчет размера разрешения при сканировании для обеспечения качественного дешифрирования.

Математическое выражение вероятности распознавания простых объектов P имеет вид [3]:

$$P = \exp \left[- \left(B \frac{A}{L} \right)^2 \right], \quad (7)$$

где L – геометрический размер простого объекта (диаметр, диагональ, длина и т.п.), который сможем отдешифрировать с вероятностью P ; A – разрешение аэрофотоснимка, указывающее размер минимального еще раздельно изобразившегося на снимке объекта; B – коэффициент распознавания формы простого объекта.

Соотношение аргументов A и L в формуле (7) выражает закономерность: чем больше геометрические размеры объекта и чем совершеннее качество снимка, тем лучше условия распознавания и выше его результат [3].

Разрешение аэрофотоснимка A дает достаточно полное и дифференцированное представление о качестве фотоизображения. Величина A формируется под влиянием условий фотографирования (освещенности местности, состояния атмосферы, выбора объектов и режима химико-фотографической обработки экспонированных материалов). Разрешение аэрофотоснимка A можно рассчитать по формуле [3; 4]:





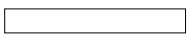
$$A = \frac{M_C}{2R}. \quad (8)$$

Кроме разрешения снимка A и размера объекта L , который сможем отдешифровать камерально, большое влияние на достоверность распознавания оказывает форма объекта. Объекты, имеющие одинаковые размеры, но отличающиеся по форме, воспринимаются по-разному и распознаются с различной степенью достоверности. Влияние этого фактора принято выражать через коэффициент B (коэффициент распознавания формы) [3].

В таблице 2 приводятся значения коэффициента B для объектов с простейшими геометрическими формами, которые характерны для большинства топографических элементов местности [3].

Таблица 2

Значения коэффициента B

№ п/п	Форма объекта	Величина коэффициента распознавания формы, B
1	 Круг	0,97
2	 Прямоугольник	1,45
3	 Угол	1,58
4	 Квадрат	1,72
5	 Стенка	2,78

На абсолютное значение вероятности распознавания влияет множество факторов. Основные из них [3]: условия получения снимка (высота полета, характеристики аэрофотоаппарата и фотоматериалов, др.) и условия дешифрирования (квалификация оператора, применяемые технические средства).

Требовать, чтобы вероятность качественного дешифрирования была равна или близка к единице, не всегда целесообразно и возможно. Это, как говорится в работе [3], вытекает из экономических соображений. Считается вполне удовлетворительным результат дешифрирования, характеризующийся вероятностью распознавания 0,75. При этом большинство задач будет выполнено с минимумом затрат на производство дешифрирования [3].

Согласно таблице 2 для расчета вероятности дешифрирования следовало бы принять коэффициент $B = 2,78$, о чем свидетельствует формула (7). Однако объекты в форме «стенка» не всегда имеют малые размеры на местности.

Наиболее сложно будет дешифрировать объекты, имеющие небольшие размеры, соизмеримые с разрешением аэроснимков, поэтому далее будем рассматривать именно такие объекты.

Выполнив анализ условных знаков [5; 6], мы пришли к выводу, что отображаемые на картах (планах) разных масштабов объекты, имеющие минимальные размеры, будут круглой формы. Поэтому рассмотрим вопрос расчета вероятности распознавания объектов, имеющих круглую форму.

Исходя из этого, в таблице 3 приведем минимальные размеры объектов круглой формы, которые отобразятся на картах разных масштабов.

Таблица 3

Минимальные размеры объектов, отображаемые на картах разных масштабов

Масштаб карты (плана) 1: M_k	Наименование объекта	Размер объекта L , см
1: 2000	Столбы, гидранты	20
1: 5000	Колодцы коллективного пользования	150
1: 10000	Буровые скважины	220
1: 25000	Буровые скважины	220

Для масштаба создаваемого плана 1:2000 выбрали размер круглого объекта диаметром 20 см. Такой диаметр будут иметь круглые столбы, гидранты. Другие объекты будут иметь больший размер. Для масштаба 1:5000 минимальным оказался размер, равный 1,5 м. Такой размер имеют колодцы коллективного пользования. Для других масштабов минимальным оказался размер буровой скважины диаметром 2,2 м.

Для создания карты (плана), например, масштаб плана 1:Мк...1:5000, аэрофотосъемка может быть выполнена в разных масштабах 1:Мс, в частности 1:10000; 1:15000; 1:20000. Выполним расчеты минимального размера объекта A , видимого на снимке, и размер распознаваемого объекта L круглой формы. Разрешающую способность снимка примем $R = 40 \text{ мм}^{-1}$. Расчеты будем выполнять по формуле (7). Значение коэффициента распознаваемого объекта круглой формы $B = 0,97$ возьмем из таблицы 2.

Сначала по формуле (8) рассчитаем разрешение аэрофотоснимка A , то есть минимальный размер объекта, который будет воспроизводиться при съемке. Значения сведем в таблицу 4.

Таблица 4

Расчет минимального размера объекта, видимого на снимке

1:Мс	1:10000	1:15000	1:20000
$A = \frac{M_c}{2R}$ (8), мм	125	187,5	250

Как отмечалось в [3], для обеспечения качественного дешифрирования считается удовлетворительным результат распознавания объекта около 0,75. Поэтому рассчитаем геометрический размер дешифрируемого камерально объекта L с вероятностью 75 %. Для этого воспользуемся формулой (7) нахождения вероятности P :

$$P = \exp \left[- \left(B \frac{A}{L} \right)^2 \right] = e^{-\left(\frac{BA}{L} \right)^2} = 0,75. \quad (9)$$

Как видим, на основании формулы (9) вероятность 0,75 будет при $\left(B \frac{A}{L} \right)^2 = 0,28$,

откуда

$$\frac{BA}{L} = \sqrt{0,28} = 0,53,$$

тогда

$$L = \frac{BA}{0,53}. \quad (10)$$

Рекомендуемой нами формулой (10) легче пользоваться при расчетах, чем подбирать вероятность 0,75 под размер дешифрируемого объекта L . Значение L в этом случае легко вычислить по формуле (10), подставив коэффициент $B = 0,97$:

$$L = \frac{BA}{0,53} = \frac{0,97A}{0,53} = 1,8302A. \quad (11)$$

Результаты расчетов размера распознаваемого объекта по формуле (11) приведем в таблице 5.

Таблица 5

Расчет размера распознаваемого объекта

1:Мс	1:10000	1:15000	1:20000
L , мм	228,8	343,2	457,6

Таким образом, мы сможем отдешифровать камерально все объекты круглой формы, размер которых будет больше значений, приведенных в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что размеры распознаваемых объектов растут пропорционально знаменателю масштаба съемки, то есть наблюдается линейная зависимость. Также пропорционально масштабу растут и размеры объектов, которые увидим на снимке (см. табл. 4).

Из этого можно сделать вывод, что для других масштабов будет легко получить как размер объекта, отобразившегося на снимке A , так и размер распознаваемого объекта L по снимкам разных мас-

штабов. Приняв, например, масштаб аэро съемки 1:10000 за исходный 1: $M_{исх}$, для принятого масштаба аэро съемки 1: $M_{прин}$ (например, 1:5000) найдем отношение $\frac{M_{Сприн}}{M_{Сисх}}$.

Умножив размер дешифрируемого с вероятностью 0,75 объекта для масштаба аэро съемки 1:10000 на полученное отношение, получим размер дешифрируемого объекта на снимках масштаба 1:5000.

$$L_{прин} = \frac{M_{Сприн}}{M_{Сисх}} L_{исх} = \frac{5000}{10000} 228,8 \text{ мм} = 114,4 \text{ мм}. \quad (12)$$

Расчеты по формуле (7) подтвердили полученный результат.

Для вывода формулы расчета разрешения при сканировании для обеспечения дешифрирования с вероятностью 0,75 на основании формулы (8) определим, какая разрешающая способность будет достаточна, чтобы увидеть объект:

$$R = \frac{M_C}{2A}, \quad (13)$$

где M_C – знаменатель масштаба снимка; A – минимальный размер объекта, который увидим на снимке.

На основании формулы (11) найдем значение A

$$A = \frac{L}{1,8302}, \quad (14)$$

где L – размер дешифрируемого объекта с вероятностью 0,75.

Из формулы (14) подставим величину A в формулу (13):

$$R = 1,8302 \frac{M_C}{2A}. \quad (15)$$

Подставив значение R из формулы (15) в формулу (5), получим формулу расчета разрешения при сканировании в зависимости от масштаба снимка 1: M_C и размера распознаваемого объекта L с вероятностью 0,75. Для отличия введем новое обозначение P_D , которое назовем «разрешение при сканировании для обеспечения качественного дешифрирования»:

$$P_D = \frac{2L \cdot 0,5}{1,8302 M_C} = \frac{L}{1,8302 M_C}. \quad (16)$$

Формула (16) учитывает масштаб снимка и размер распознаваемого круглого объекта L с вероятностью 75 %.

В соответствии с данной формулой рассчитаем разрешение при сканировании для обеспечения качественного дешифрирования для создания карт (планов) масштабов 1: M_k ...1:2000 и 1:10000 и разных масштабов фотографирования 1: M_C . Размеры распознаваемых объектов с вероятностью 0,75 возьмем из таблицы 5. Результаты расчетов приведем в таблицах 6 и 7.

Таблица 6

Расчет разрешения при сканировании для масштаба создаваемого плана 1:2000

M_C	5 000	10 000	15 000	20 000
$\frac{M_C}{M_k}$	2,5	5	7,5	10
P_R , мкм	12,5			
P_D , мкм	21,8	10,9	7,2	5,5
$R = \frac{1}{2P_D}$, мм ⁻¹	22,9	45,8	69,4	90,9

Таблица 7

Расчет разрешения при сканировании для масштаба создаваемого плана (карты) 1:10000

M_C	15000	20000	25000	30000
$\frac{M_C}{M_k}$	1,5	2	2,5	3
P_R , мкм	12,5			
P_D , мкм	80,0	60,0	48,0	40,0
$R = \frac{1}{2P_D}$, мм ⁻¹	6,2	8,3	10,4	12,4

Примечание. В таблицах 6 и 7 R – требуемая разрешающая способность снимка для обеспечения дешифрирования с вероятностью 0,75.

Анализируя таблицы 6 и 7, можно отметить, что с уменьшением масштаба фотографирования по отношению к масштабу создаваемого или обновляемого плана (карты) уменьшается размер пикселя при сканировании снимка. Для большинства масштабов создаваемых или обновляемых карт (планов) разрешение при сканировании для обеспечения дешифрирования с вероятностью 0,75 значительно превышает рекомендуемую величину, составляющую в 12,5 мкм, которая обеспечит разрешающую способность снимка $R = 40$ мм⁻¹. Для качественного дешифрирования достаточно иметь разрешающую способность изображения $R = 5 \dots 20$ мм⁻¹. Проблемы возникнут при крупномасштабном картографировании (см. табл. 6).

Как видим, разрешение при сканировании может составить 5,5 мкм (см. табл. 6). Если P_D окажется меньше значения P_R , вычисленного по формуле (5), то отдешифрировать такие объекты не удастся даже по оригинальным снимкам. Если разрешающая способность будет очень низкая, о качественном дешифрировании не может быть и речи. Если мелкие объекты отдешифрировать сложно, как в случае масштаба плана 1:2000 (см. табл. 6), то такие объекты придется дешифрировать в поле либо повышать качество изображения путем увеличения разрешающей способности, или выполнять аэрофотосъемку в более крупном масштабе.

Произведем полный расчет разрешений при сканировании для создания карт (планов) разных масштабов и с разной высотой сечения рельефа для аэрофотоснимков, полученных аэрофотоаппаратом (АФА) с форматом кадра 23×23см, фокусным расстоянием 153 мм и разрешающей способностью $R = 40$ мм⁻¹ по формулам (1)...(3) и (16). Результаты приведем в таблицах 8 и 9.

Таблица 8

Расчет разрешения при сканировании для создания плана масштаба 1:2000 с высотой сечения рельефа $h = 0,5$ м

M_C	5000	10000	15000	20000
P_S , мкм	40	20	13,3	10
P_Z , мкм	16,6	8,3	5,5	4,6
P_P , мкм	28	14	9,3	7
P_D , мкм	21,8	10,9	7,2	5,5

Таблица 9

Расчет разрешения при сканировании для создания карты (плана) масштаба 1:10 000 с высотой сечения рельефа $h = 1$

M_C	15000	20000	25000	30000
P_S , мкм	66,6	50	40	33,3
P_Z , мкм	11,1	8,3	6,6	5,5
P_P , мкм	46,6	35	28	33,3
P_D , мкм	80	60	48	40

Анализируя таблицы 8 и 9, можно сделать следующие **выводы**:

1) при создании плана масштаба 1:2000 необходимо выполнять аэрофотосъемку при соотношении масштабов $A = \frac{M_c}{M_k} < 5$. В противном случае при дешифрировании мелких объектов возникнут

сложности. Кроме того, при соотношении масштабов $A = \frac{M_c}{M_k} > 5$ необходимо будет сканировать снимки с малым размером пикселя и по другим параметрам, рассматриваемым в таблицах 8 и 9, что приведет к значительному увеличению объема информации, времени и стоимости выполняемых работ;

2) как рекомендует Инструкция [1], снимки необходимо сканировать с наименьшим размером пикселя из рассчитанных величин. Самый малый размер пикселя необходим для обеспечения точности определения высот, что видно из таблиц 8 и 9. Следовательно, дешифрирование будет выполнено с вероятностью более 75 %;

3) в случае расчета разрешения при сканировании для обеспечения разрешающей способности снимка P_R , как рекомендует Инструкция [1], сканировать снимки пришлось бы с разрешающей способностью $P_R = 10$ мкм независимо от масштабов фотографирования и масштабов создаваемых карт (планов), а это в большинстве случаев значительно снизит производительность труда и повысит цену продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании топографических карт и планов. – Минск: УП «БелНИЦЗЕМ», 2003. – 78 с.
2. Михеева, А.А. Анализ расчета элемента геометрического разрешения при сканировании снимков для обеспечения разрешающей способности графических фотопланов и для обеспечения разрешающей способности снимка / А.А. Михеева // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2012. – № 16. – С. 122–125.
3. Живичин, А.Н. Дешифрирование фотографических изображений / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. – М.: Недра, 1980. – 253 с.
4. Щербаков, Я.Е. Расчет и конструирование аэрофотоаппаратов / Я.Е. Щербаков. – М.: Машиностроение, 1979. – 264 с.
5. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500. – М.: Недра, 1989. – 286 с.
6. Руководство по картографическим и картоиздательским работам / В.А. Бабичев [и др.]. – М.: Ред.-издат. отдел ВТС, 1978. – 111 с.

Поступила 16.02.2015

RESOLUTION CALCULATION DURING SCANNING FOR HIGH-GRADE INTERPRETATION OF IMAGES

A. MIHEEVA, A. ILUSHENKO

Image scanning is an important stage of the ground map creation with the use of digital photogrammetric systems. Before image scanning the instruction recommends to make a calculation of optimal element of geometrical expansion on the basis of required horizontal-position accuracy and sport height of photogrammetric models, on the transmission of the definition of an original picture, on the definition of photographic plan. We supposed, that in the instruction it is necessary to ask to calculate the image resolution during scanning for high-grade interpretation of images. This article provides methods of resolution calculation during scanning for interpretation of images with a probability of 75 %.