

- гия в развивающемся мире : сб. науч. тр. V науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь / Перм. гос. нац. исследоват. ун-т. – Пермь, 2012. – С. 166–169.
10. Степанов, Ю.И. Применение электроразведки при изучении ВЧР при сейсмических работах / Ю.И. Степанов, В.А. Поносов // Геофизические методы поисков и разведки. – Пермь : ПГУ, 1983. – С 121–124.
  11. Near-surface P-velocity modeling by integrated seismic, EM, and gravity data: examples from the Middle East / D. Colombo [et al.] // First Break. – 2008. – № 10. – P. 91–102.

## USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGY TO SOLVE GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL PROBLEMS

*I. MITUNINA*

*Practical examples of the solution of geological and geophysical problems based on geographic information system ArcGIS 10 (ESRI Inc.) are given. The technology of velocity near-surface model building on the basis of complex interpretation of seismic CMP data, high-precision gravity measurements and vertical electrical sounding. A variant of the automation of inventory counting process oil volumetric method is suggested.*

**Key words:** *Geographic information system ArcGIS 10, 3D seismic, gravity exploration, vertical electrical sounding, velocity near-surface model, estimates of petroleum, volumetric method*

**УДК 528.7**

### АНАЛИЗ ФОРМУЛ РАСЧЕТА РАЗРЕШЕНИЯ ПРИ СКАНИРОВАНИИ АЭРОНЕГАТИВОВ

**канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА**

*(Полоцкий государственный университет, Беларусь)*

*Выполнен анализ для формул расчета разрешения при сканировании аэронегативов, приведенных в Инструкции по фотограмметрическим работам при создании топографических карт и планов. В основу разработки положена Инструкция по фотограмметрическим работам по созданию цифровых топографических карт и планов Роскартографии.*

*Нормативно-технические документы должны неоднократно редактироваться и все требования тщательно проверяться, чего не было сделано с рассматриваемыми инструкциями.*

Нормативные документы играют очень важную роль особенно в наше время, когда уровень образования падает и молодые специалисты не всегда в состоянии выбрать оборудование и методику выполнения тех или других работ, оценить ожидаемую точность полученных результатов.

В нормативных документах не должно быть двойных толкований, жаргонных слов и тем более ошибок.

В случае использования аналоговых снимков на ЦФС негативы сканируют на фотограмметрическом сканере.

Перед сканированием снимков согласно инструкциям по фотограмметрическим работам [1, 2] рекомендуется выполнить расчет оптимального элемента геометрического разрешения, исходя из требуемой точности определения плановых координат  $V_s$  (0,2 мм) и высот  $V_z$  (0,2  $h$ ) точек фотограмметрической модели, передачи разрешающей способности исходного снимка  $R$  (в  $\text{мм}^{-1}$ ), 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  $h_c$ .

Величины элементов разрешения составят [1, 2]:

- 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 первых двух формулах цифра 2 – коэффициент, учитывающий потерю точности из-за процессов обработки: сканирования, опознавания, стереонаведения и измерения точек [1, 2]. За окончательное из разрешений  $P_S, P_Z, P_P, P_R$  берется их минимальное значение.

Воспользуемся примером из инструкции по фотограмметрическим работам [1], где для расчета приняты следующие параметры (табл. 1).

Начнем с формулы (3).

Не совсем понятно, что означает термин графический фотоплан. Возможно, здесь речь идет о графических планах, т.е. об уже созданной карте без фотоизображения? Кроме того не понятно, что такое 70 мкм и почему 70? В инструкции не должно быть ни спорных, ни двойных толкований.

Таблица 1

**Параметры аэрофотосъемки,  
создаваемого плана и разрешений при сканировании**

$M_k$	$M_c$	$h, \text{м}$	$f, \text{мм}$	$l \times l, \text{см}$	$R, \text{мм}^{-1}$	$P_S, \text{мкм}$	$P_Z, \text{мкм}$	$P_P, \text{мкм}$	$P_R, \text{мкм}$
2000	10000	1	100	18×18	40	20	14	14	10

Расчеты свидетельствуют (формула (4)) что геометрическое разрешение для обеспечения разрешающей способности снимка  $P_R = 10$  мкм. Как видим, мы получили наименьший размер геометрического разрешения для выполнения качественного дешифрирования, который и должен быть применен для сканирования снимков.

Для дешифрирования очень большое значение имеет разрешающая способность как аэрофотонегатива, так и цифрового изображения.

При расчете по формуле (4) в инструкции принята разрешающая способность исходного снимка  $R = 40 \text{ мм}^{-1}$ .

Разрешающую способность цифрового снимка  $R$  можно рассчитать по формуле [3]:

$$R = \frac{1}{2P_R} = 50 \text{ мм}^{-1}. \quad (5)$$

Разрешающая способность, вычисленная по формуле (5), не соответствует величине принятой в инструкции. Коэффициент 0,4 в формуле (4) ошибочен. Нами определен новый коэффициент 0,5, и формула (4) должна иметь вид

$$P_R = \frac{0,5}{R} = 12,5 \text{ мкм}, \quad (6)$$

то есть чтобы получить разрешающую способность  $R = 40 \text{ мм}^{-1}$ , снимки необходимо сканировать с разрешением 12,5 мкм. Это тоже наименьший размер геометрического разрешения.

В этом случае разрешающая способность цифрового изображения будет такая же, как и на снимке. Но тогда зачем рассчитывать остальные величины разрешения при сканировании? Ведь больше, чем снимок имеет, получить при сканировании невозможно.

Да и 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]

$$P = \exp \left[ - \left( B \frac{A}{L} \right)^2 \right] = e^{-\left( \frac{BA}{L} \right)^2} = 0,75. \quad (7)$$

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

Разрешение аэрофотоснимка  $A$  можно рассчитать по формуле [3]:

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

Кроме разрешения снимка  $A$  и размера объекта  $L$ , который сможем дешифрировать 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. И влияние этого фактора принято выражать через коэффициент  $B$  (коэффициент распознавания формы) [3].

В своей книге [3] А.Н. Живичин и В.С. Соколов отмечают, что требовать, чтобы вероятность качественного дешифрирования была равна или близка к единице, не всегда целесообразно и возможно. Считается вполне удовлетворительным результат дешифрирования, характеризующийся вероятностью распознавания 0,75. При этом большинство задач будет выполнено с минимумом затрат на производство дешифрирования [3].

Наиболее сложно будет дешифровать объекты, имеющие небольшие размеры, соизмеримые с разрешением аэроснимков.

Выполнив анализ условных знаков [4, 5], мы пришли к выводу, что отображаемые на картах (планах) разных масштабов объекты, имеющие минимальные размеры будут круглой формы. В связи с чем рассмотрим вопрос расчета вероятности распознавания объектов, имеющих круглую форму.

На основании формулы (7) вероятность 0,75 будет при  $\left(B\frac{A}{L}\right) = 0,53$ , тогда

$$L = \frac{BA}{0,53}. \quad (9)$$

Значение  $L$  для круглых объектов имеет вид

$$L = \frac{BA}{0,53} = \frac{0,97A}{0,53} = 1,8302A. \quad (10)$$

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

$$R = \frac{M_c}{2A}. \quad (11)$$

На основании формулы (10) нашли значение  $A$

$$A = \frac{L}{1,8302}. \quad (12)$$

Полученное значение  $A$  из формулы (12) подставили в формулу (11):

$$R = 1,8302 \frac{M_c}{2A}. \quad (13)$$

С учетом (13) формула разрешения при сканировании приняла вид

$$P_d = \frac{2L0,5}{1,8302M_c} = \frac{L}{1,8302M_c}, \quad (14)$$

которую можно назвать формулой расчета разрешения при сканировании для обеспечения качественного дешифрирования  $P_d$ .

Формула (14) учитывает масштаб снимка и размер распознаваемого круглого объекта  $L$  с вероятностью 75%.

Для проверки формул инструкции (1) и (2) мы преобразовали эти формулы, подставив вместо средних ошибок средние квадратические (СКО) и решив их относительно СКО.

Средние квадратические ошибки определения плановых координат имеют вид (15) и (16):

$$m_{x,y} = \frac{2,5P_s M_c}{\sqrt{2}}, \quad (15)$$

а формула (2) будет

$$m_z = \frac{2,5P_z b M_c}{f}. \quad (16)$$

Анализировались полученные результаты элементов разрешения при сканировании по формулам предрасчета точности определения координат точек местности, которые не дали однозначных результатов (табл. 2 и 3).

Таблица 2

**Средние квадратические ошибки определения плановых координат, м**

Выражение $m_{x,y}$	$m_{x,y} = 2,5 \cdot M_c \sigma$	$m_{x,y} = 1,5 \cdot M_c \sigma$	$m_{x,y} = \frac{2,5 P_s M_c}{\sqrt{2}}$	Требуемая точность $m_{x,y} = 1,25 \frac{v_s M_k}{\sqrt{2}}$	По эллипсам погрешно- стей
Значение $m_{x,y}$ , м	0,250	0,150	0,354	0,354	0,075

Таблица 3

**Значения средней квадратической ошибки определения высот, м**

$f$ , мм	70	100	140
$m_z = 1,12 \frac{f M_c}{b} \sigma$	0,076	0,109	0,152
$m_z = 1,63 \frac{H}{b} \sigma = 1,63 \frac{f M_c}{b} \sigma$	0,111	0,158	0,222
$m_z = 2,3 \frac{f M_c}{b} \sigma$	0,156	0,224	0,313
$m_z = \frac{2,5 P_z b M_c}{f}$	0,900	0,630	0,450
$m_z = \frac{2,5 P_z f M_c}{b}$	0,340	0,486	0,681
По эллипсам погрешностей	0,108	0,155	0,216

Требуемая точность  $m_z = 1,25 V_z = 1,25 \cdot 0,2 \cdot h_c = 0,25$  м.

В формулах СКО измерений координат на снимке  $\sigma$  была принята равной половине величин разрешений при сканировании, указанных в таблице 1 [6]

$$\sigma = \frac{P_s}{2} = \frac{P_z}{2}. \quad (17)$$

Величина  $\sigma$  включает ошибки сканирования, внутреннего ориентирования, распознавания и наведения марки на точку, поэтому не понятно назначение коэффициента 2 в формулах (1) и (2).

Как видим, при определении точности высот средние квадратические ошибки в формулах предрасчета точности прямо пропорциональны  $f$  и обратно пропорциональны  $b$ .

Мы решили, что авторы инструкций [1, 2] описались и в формуле (2) базис фотографирования на снимке  $b$  должен быть в числителе, а фокусное расстояние  $f$  – в знаменателе, тогда

$$P_z = \frac{bV_z}{2fM_c}. \quad (18)$$

Формула (18) показывает, что с увеличением фокусного расстояния размер разрешения при сканировании уменьшается, что и должно быть.

Формула определения СКО определения высот в этом случае имеет вид

$$m_z = \frac{2,5P_z f M_c}{b}. \quad (19)$$

Но и после того как  $b$  и  $f$  поменяли местами, видно (табл. 3), что формулы расчета разрешения при сканировании дают значительное занижение точности по отношению к данным, полученным по формулам предрасчета точности.

Так как формулы предрасчета точности не дали однозначных результатов, мы выполнили анализ, используя эллипсы погрешностей, которые, как утверждают А.С. Чеботарев [7] и другие, дают более полное и более правильное понятие об ошибках. Результаты расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

Наиболее подробно в геодезии рассмотрены эллипсы погрешностей для определения точности получения координат путем решения прямых засечек [7, 8]. В фотограмметрии положение точек также определяется путем решения прямых засечек. Мы посчитали углы засечки и точность определения углов в зависимости от точности измерения координат на снимках и точности определения фокусного расстояния.

Анализируя полученные значения в таблице 2, можно сделать вывод, что формулы предрасчета точности дают значительное занижение точности. Средняя квадратическая ошибка определения высот (табл. 3), близкая к значениям эллипса погрешности, получена по формуле с коэффициентом 1,63.

Мы приняли данные, определенные по эллипсам ошибок за истинные. На их основе были получены формулы предвычисления средних квадратических ошибок определения как плановых координат  $m_{x,y}$ , так и высот  $m_z$ . Рекомендовано пользоваться следующими формулами:

$$m_{x,y} = 0,75M_c\sigma, \quad (20)$$

$$m_z = 1,59\frac{M_c f}{b}\sigma, \quad (21)$$

На основе формул (20) и (21) мы получили формулы расчета разрешения при сканировании для обеспечения точности определения как плановых координат, так и высот, которые имеют вид

$$P_s = 0,25\frac{v_s M_k}{M_c}, \quad (22)$$

$$P_z = 0,34\frac{V_z b}{fM_c}. \quad (23)$$

Однако для производства возможно и необходимо ввести поправочный коэффициент, особенно если нет уверенности в высокой квалификации персонала, но не 2, а меньший, например, 1,2 – 1,3, который поставить в знаменатель формул (18) и (19). В таком случае эти формулы примут следующий вид:

$$P_s = 0,25\frac{v_s M_k}{1,2(1,3)M_c}, \quad (24)$$

$$P_z = 0,34\frac{V_z b}{1,2(1,3)fM_c}. \quad (25)$$

Применяя коэффициент 2, придется либо увеличить масштаб фотографирования в два раза, что приведет к увеличению работ в два раза, либо сканировать снимки с разрешением меньше в два раза, что также приведет к увеличению работ.

Точность измерения координат на снимке  $\sigma$  определяется величиной разрешения при сканировании.

Формулы расчета разрешения при сканировании, приведенные в рассматриваемых инструкциях [1, 2], дают занижение точности по отношению к данным, полученным по эллипсам погрешностей. Для обеспечения более высокой точности выбирают более крупный масштаб фотографирования, что приводит к увеличению объема выполняемых работ.

Формулы расчета при сканировании целесообразно использовать в том случае, когда аэросъемка уже выполнена. Если аэросъемка не выполнена, то целесообразнее вычислять масштаб фотографирования для обеспечения заданной точности на основании формул (20) и (21).

Инструкция или кодекс – это руководство к действию. Сотрудники предприятий должны неукоснительно следовать требованиям инструкций. Поэтому нормативные документы должны неоднократно редактироваться и все требования тщательно проверяться, чего не было сделано с рассматриваемыми инструкциями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании топографических карт и планов. – Минск : УП «БелНИЦЗЕМ», 2003. – 78 с.
2. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 78 с.
3. Живичин, А.Н. Дешифрирование фотографических изображений / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. – М. : Недра, 1980. – 253 с.
4. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500. – М. : Недра, 1989. – 286 с.
5. Руководство по картографическим и картоиздательским работам / Редакционно-издат. отд. ВТС ; В.А. Бабичев [и др.]. – М., 1978. – 111 с.
6. Книжников, Ю.Ф. Зависимость точности стереоскопических измерений от размера пиксела цифровых снимков / Ю.Ф. Книжников // Геодезия и картография. – 2003. – № 4. – С. 32–41.
7. Чеботарев, А.С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятности / А.С. Чеботарев. – М. : Геодезиздат, 1958. – 606 с.
8. Селиханович, В.Г. Геодезия / В.Г. Селиханович. – М. : Недра, 1981. – 388 с.

#### **ANALYSIS OF FORMULAE FOR RESOLUTION CALCULATION WHEN SCANNING THE AERIAL NEGATIVES**

**A. MIKHEEVA**

*The paper examined the formulae for resolution calculation when scanning the aerial negatives provided by the Instructions for photo charting work while creating topographic maps or plans. – Minsk, Belarusian National Scien-*

*tific Research Center for Survey, 2003. The authors of the specified document posit that its conceptual basis lies in the Instruction for charting work while creating topographic maps or plans at Roskartographia, Moscow, Central Scientific Research Center for Survey, 2002.*

*The instructions should be edited multiple times and all requirements must be thoroughly validated, which was not completed for the mentioned documents.*

**Keywords:** *resolution ability, decoding, aerial photography, preliminary accuracy calculation, aerial negatives.*

**УДК 502.17(476)**

## **РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ГИС, ИНТЕГРИРОВАННЫХ С ДАННЫМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

**канд. биол. наук А.Р. ПОНТУС, М.С. КУДРЯКОВ,  
А.А. СВЯТОГОРОВ**

*(Научно-производственный центр по геологии, Беларусь)*

*Приведены основные результаты и данные по разработке комплексной региональной информационно-аналитической системе управления для поддержки и принятия управленческих решений, прежде всего, на областном и районном уровнях.*

**Ключевые слова:** *информационно-аналитическая система, управленческие решения.*

Разрабатываемая комплексная региональная информационно-аналитическая система управления предназначена для поддержки и принятия управленческих решений на областном и районном уровнях.

Комплексная региональная система управления размещается на имеющихся программно-аппаратных комплексах областных и районных исполкомов с использованием существующей сети РУП «Белтелеком» и системы сотовой связи.

Одно из главных направлений применения системы – разработка и принятие управленческих решений на основе комплексного анализа имеющихся данных по региону. Развитие информатизации в регионах идет