

## ГЕОДЕЗИЯ И ФОТОГРАММЕТРИЯ

УДК 528.7

### РАСЧЕТ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СНИМКА

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

*Анализируется разрешающая способность снимка и её роль в фотограмметрии, что особенно важно при дешифрировании. Делается вывод о необходимости знания разрешающей способности полученных аэроснимков или тех, которые будут получены. На разрешающую способность влияют такие факторы, как абберация объектива, разрешающая способность фотопленки или ПЗС-приемника, атмосфера, и другие. Рассматриваются разные пути предрасчета разрешающей способности. Расчеты показали, что предрасчитать разрешающую способность с достаточной точностью нельзя, так как каждый объектив уникален и имеет свою разрешающую способность. В ходе калибровки аэрокамеры необходимо определять не только дисторсию, но и разрешающую способность системы «объектив – фотопленка», тогда учет влияния атмосферы сдвига изображения и других факторов не составит труда.*

Расчет разрешения при сканировании аэрофотоснимков для обеспечения разрешающей способности  $P_R$  должен выполняться в соответствии с требованиями Инструкции [1] по формуле:

$$P_R = \frac{0,4}{R}, \quad (1)$$

где  $R$  – разрешающая способность исходного аэрофотоснимка.

В работе [2] говорится о том, что расчет разрешения при сканировании аэрофотоснимков для обеспечения разрешающей способности  $P_R$  должен выполняться по формуле:

$$P_R = \frac{0,5}{R}. \quad (2)$$

В обоих случаях необходимо знать разрешающую способность снимка.

Пример расчета разрешения при сканировании для обеспечения разрешающей способности аэрофотоснимка рассматривается в инструкции [1], где значение  $R$  принято равным  $40 \text{ мм}^{-1}$ . Однако, как получить разрешающую способность снимка и почему принято именно такое значение  $R$ , не указано. В работе [3] отмечено, что разрешающая способность снимка составляет  $50 \text{ мм}^{-1}$ , и тоже без пояснения.

Полагаем, что значение разрешающей способности не может быть постоянной величиной, так как на разрешающую способность аэрофотоснимка влияют многие факторы: разрешающая способность фотопленки, которая зависит от ее светочувствительности; абберации объектива, которые также не являются постоянными для всех объективов; слой атмосферы и другие.

Строгое определение разрешающей способности применительно к аэросистемам приведено в ГОСТ 23935-79 [4]: «Разрешающая способность – это характеристика аэрофотоаппарата, оптико-фотографической системы, аэрофотоматериала, определяемая максимальной пространственной частотой периодической решетки, штрихи которой визуальны различимы в фотографическом изображении, образованном данной системой, при использовании в качестве объекта стандартной миры заданного контраста». Стандартное обозначение разрешающей способности – латинская буква  $R$  [4].

Как свидетельствует работа [5], разрешающая способность является эмпирической оценкой, получаемой при визуальном наблюдении. Последнее является ее достоинством и недостатком одновременно: достоинство – эта характеристика достаточно наглядна, имеет простой физический смысл и автоматически включает в себя пороговые свойства зрительного анализатора; недостаток – отсутствие методик анализа и синтеза сложных систем непосредственно по этой характеристике, которые имели бы достаточную для практики точность [5].

Автор работы [5] отмечает, что критерий «разрешающая способность» по существу носит статистический характер, так как он получается усреднением нескольких наблюдений изображений тест-объекта, полученных оцениваемой системой. Величина вероятности правильного определения разрешающей способности должна быть порядка 0,9, а относительный разброс этой величины – порядка 10% [5]. К тому же в разных частях кадра разрешающие способности разные, поэтому при определении разре-

шающей способности, кроме распределения её по полю изображения приводят средневзвешенное значение или указывают значения разрешающей способности в центре и на краях поля изображения.

Существует несколько способов для определения разрешающей способности. Наиболее распространены следующие методы определения разрешающей способности [6–10]: по миру; по ширине тонких линий; по ширине пограничной линии; по оптимальному увеличению; с использованием функции передачи модуляции. Известны и другие методы определения разрешающей способности. Самый точный способ, когда выполняют съемку специальной миры. Однако способ этот применяют редко, так как требует больших финансовых и временных затрат. К тому же условия аэрофотосъемки могут отличаться от условий съемки миры, а значит полученные результаты значений разрешающей способности будут с погрешностями. Кроме того, в отдельных случаях необходимо предрасчитать, какая будет разрешающая способность.

Перечисленные методы требуют либо больших затрат, либо специального оборудования, или обеспечивают малую точность. Наиболее близкое значение разрешающей способности к реальной будет получено с использованием функции передачи модуляции, как справедливо утверждают авторы работ [8–10]. Этому методу мы и отдадим предпочтение.

Функция передачи модуляции представляет собой совокупность определенных для различных частот  $N$  коэффициентов  $T(N)$ , показывающих степень уменьшения интенсивностей (контраста) в изображении при какой-либо частоте по сравнению с исходным контрастом и, соответственно, степень уменьшения разрешающей способности.

Множитель  $T(N)$  называется по-разному [10]: функцией передачи контраста (ФПК), функцией передачи модуляции (ФПМ), частотно-контрастной характеристикой (ЧКХ), амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ), контрастно-частотной характеристикой (КЧХ). Общепринятого названия нет. Мы в дальнейшем функцию  $T(N)$  будем называть функцией передачи модуляции, которая имеет следующий вид [10]:

$$T(N) = T(N)_o \cdot T(N)_\phi \cdot T(N)_a \cdot T(N)_{\text{сдвиг}} \dots, \quad (3)$$

где  $T(N)$  – результирующая ФПМ системы;  $T(N)_o$  – ФПМ объектива;  $T(N)_\phi$  – ФПМ аэрофотоэмульсии;  $T(N)_a$  – ФПМ, описывающая влияние атмосферы;  $T(N)_{\text{сдвиг}}$  – ФПМ, описывающая влияние нерезкости изображения, обусловленной перемещением аэрофотокамеры при экспонировании.

В выражении (3) перечислены основные причины, которые вызовут снижение разрешающей способности. Входящие в формулу (3) коэффициенты снизят разрешающую способность пропорционально рассчитанной величине.

Предельно возможное значение разрешающей способности объектива, которую называют дифракционной  $R_D$ , можно получить [8; 9; 11; 15] по формуле:

$$R_D = \frac{1}{1,22\lambda} \frac{d}{f} = \frac{1}{1,22\lambda n_0}, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – длина волны света. Среднее значение световой волны  $\lambda = 0,555$  мкм [8; 9; 10; 15]. Это значение длины световой волны и будем использовать в расчетах;  $d$  – диаметр входного отверстия объектива;

$\frac{d}{f} = \frac{1}{n_0}$  – относительное отверстие объектива.

Расчеты будем выполнять для оборудования, используемого в Беларуси, то есть для аэрофотоаппарата (АФА) RC-30 швейцарской фирмы *Leica* с фокусным расстоянием  $f = 153$  мм, форматом кадра  $23 \times 23$  см. Фотографирование выполняется при относительном отверстии объектива  $\frac{1}{n_0} = \frac{1}{4}$ .

Подставив принятые значения в формулу (4) получим  $R_D = 396 \text{ мм}^{-1}$ .

Аберрации объектива снизят разрешающую способность.

Функция передачи модуляции объектива  $T(N)_o$ , учитывающая аберрации объектива, может быть вычислена согласно [12] как

$$T(N)_o = \left(1 - \frac{4}{\pi} \lambda n_0 N\right) e^{-\frac{c f N n_0^2 \beta}{n_0^2}}, \quad (5)$$

где  $c = 0,0035$  – постоянный коэффициент;  $\beta$  – половина угла поля зрения (для АФА – RC-30 с фокусным расстоянием  $f = 153$  мм,  $\beta = 45^\circ$ );  $e$  – основание натурального логарифма;  $N$  – пространственная частота, которая зависит от характера снимаемого объекта, его освещенности и других факторов.

В случае если отсутствуют данные калибровки объектива, значения разрешающей способности объектива с учетом аберраций можно рассчитать по [8; 10] следующим образом:

$$R_o = T(N)_o R_D. \quad (6)$$

Вычисления сделаем для пространственной частоты  $30 \text{ мм}^{-1}$ .

Для расчета примем АФА с фокусным расстоянием  $153 \text{ мм}$ ,  $\beta = 45^\circ$  и АФА с фокусными расстояниями  $f = 88 \text{ мм}$ ,  $213 \text{ мм}$  и  $303 \text{ мм}$ . Половина значения угла поля зрения  $\beta$  зависит от величины фокусного расстояния. Данные приведены в таблице 1 [13], как и результаты вычислений  $T(N)_o$  и  $R_o$  по формулам (5) и (6).

Таблица 1 – Значения коэффициентов  $T(N)_o$  и  $R_o$  для пространственной частоты  $N = 30 \text{ мм}^{-1}$

$f, \text{ мм}$	88	153	213	303
$\beta^\circ$	60	45	35	27,5
$T(N)_o$	0,1618	0,3353	0,4612	0,5339
$R_o, \text{ мм}^{-1}$	64	132	183	211

Как видим, с увеличением фокусного расстояния увеличиваются и коэффициент  $T(N)_o$ , и разрешающая способность объектива  $R_o$ . В работе [11] также указывается на то, что с уменьшением угла поля зрения  $2\beta$  влияние aberrаций уменьшается. В работе [14] приводятся значения разрешающей способности в пределах всего поля зрения для АФА с фокусными расстояниями  $f = 88; 153; \text{ и } 303 \text{ мм}$  при относительном отверстии  $1:n_o = 1:4$  (табл. 2).

Таблица 2 – Значения разрешающей способности для АФА с разными фокусными расстояниями

$f, \text{ мм}$	88	153	303
$R, \text{ мм}^{-1}$	30...100	66...150	77...118

В таблице 2 даны значения разрешающей способности на краю снимка и в центре. Видим, что при увеличении фокусного расстояния с  $88$  до  $153 \text{ мм}$  разрешающая способность увеличилась, однако при увеличении фокусного расстояния до  $303 \text{ мм}$  в центре поля зрения разрешающая способность оказалась ниже, чем при  $f = 153 \text{ мм}$ . Возможно, что в работе [14] имеет место опечатка или у АФА RC-30 с фокусным расстоянием  $f = 153 \text{ мм}$  более тщательно откорректированы aberrации, так как этот аэрофотоаппарат находит наиболее широкое применение.

Формула (5) сложна для вычислений. Кроме того, сложно выбрать и пространственную частоту  $N$ .

В работе [10] наличие остаточных aberrаций в оптической системе, снижающих разрешающую способность для приближенного расчета, рекомендовано выполнять по формуле:

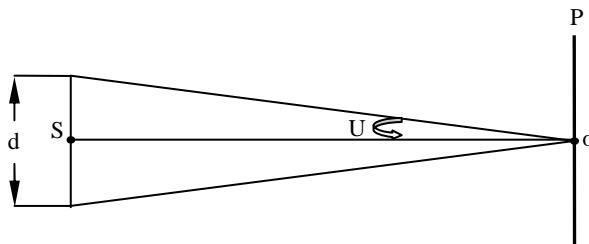
$$R'_o = \frac{1}{\sigma} \approx \frac{U}{4\epsilon}, \quad (7)$$

где  $\sigma$  – средний размер диаметров кружков рассеяния, обусловленных aberrациями;  $\epsilon$  – волновая aberrация, используемая в качестве обобщенной характеристики остаточных aberrаций, которая составляет [10]:  $\epsilon = 0,25\lambda$  – для оптических систем с отличной коррекцией aberrаций;  $\epsilon = 0,5\lambda$  – для хорошей коррекции aberrаций. При конструировании аэрофотоаппаратов используют объектив с очень хорошей коррекцией aberrаций, поэтому примем  $\epsilon = 0,5\lambda$ ;  $U$  – апертурный угол в пространстве изображений, определяемый как отношение радиуса выходного зрачка к расстоянию от зрачка до изображения;

$$\sin U \approx U = \frac{d}{2f}. \quad (8)$$

Как видим, в формуле (8) имеется знак приближенно:  $\sin U \approx U$ .

Поясним апертурный угол  $U$  на рисунке.



$P$  – плоскость снимка;  $o$  – главная точка снимка;  $S$  – задняя узловая точка объектива;  $d$  – диаметр выходного зрачка;  $S_o$  – фокусное расстояние

Исходя из рисунка,  $tgU = \frac{d}{2f} = 0,1257$ . Следовательно,  $U = 7^{\circ}10'$  для всех рассматриваемых в таблице 2 аэрофотоаппаратов.

В формуле (8) требуется знать  $\sin U$ . Значение  $\sin 7^{\circ}10' = 0,1248$ . Небольшие расхождения в последних знаках не повлияли на дальнейшие вычисления. Кроме того, в формуле (8)  $\sin U \approx U = \frac{7^{\circ}10'}{\rho} = 0,1251$ , что также не повлияет на дальнейшие вычисления.

Выполним расчет разрешающей способности объектива  $R'_o$  по формуле (8) при относительном отверстии объектива  $1:n_o = 1:4$  и при отличной коррекции объектива. Получили одинаковые значения  $R'_o = 225 \text{ мм}^{-1}$  при отличной коррекции объектива для всех аэрофотоаппаратов с фокусными расстояниями  $f = 88 \text{ мм}$ ,  $153$  и  $303 \text{ мм}$ , так как относительные отверстия  $\frac{d}{f} = \frac{1}{n_o}$  для перечисленных фокусных расстояний одинаковы и равны  $\frac{1}{4}$ . Однако это не так, о чем свидетельствуют данные таблицы 2.

В таблице 2 приведены значения разрешающей способности с учетом разрешающей способности фотопленки Panatomic 2412  $R_{\phi} = 400 \text{ мм}^{-1}$  [14], что снизит результирующую разрешающую способность.

Влияние разрешающей способности фотопленки  $R_{\phi}$  для  $R'_o = 225 \text{ мм}^{-1}$  учтем по формуле [12; 15]:

$$R_{o/\phi} = R_{\phi} \left(1 - e^{-\frac{R_o}{R_{\phi}}}\right) = 172 \text{ мм}^{-1}, \quad (9)$$

где  $R_{o/\phi}$  – совместное влияние на разрешающую способность объектива и фотопленки.

Сопоставив полученный результат с данными таблицы 2, получим завышенное значение разрешающей способности системы «объектив – фотопленка». Возможно, коррекция aberrаций объектива не была отличной. При хорошей коррекции aberrаций  $R'_o = 113 \text{ мм}^{-1}$ , а  $R_{o/\phi} = 98 \text{ мм}^{-1}$ , но для объективов разных фокусных расстояний разрешающие способности должны быть разные.

Рассчитаем значения  $R_{o/\phi}$  для разрешающих способностей объективов, приведенных в таблице 1. Результаты представим в таблице 3.

**Таблица 3 – Разрешающая способность  $R_{o/\phi}$  системы «объектив – фотопленка»**

$f, \text{ мм}$	88	153	213	303
$R_{o/\phi}, \text{ мм}^{-1}$	59	112	146	164

Сопоставим полученные значения с данными таблицы 2. Для АФА с фокусными расстояниями  $f = 88$  и  $153 \text{ мм}$  получили значения, близкие к среднему, а для  $f = 303 \text{ мм}$  в таблице 3 значение  $R_{o/\phi}$  значительно больше, чем в таблице 2.

Попробуем другой путь. Для этого воспользуемся формулой [16]:

$$\frac{1}{R_{o/\phi}} = \frac{1}{R_o} + \frac{1}{R_{\phi}}. \quad (10)$$

При расчете по формуле (10)  $R_{o/\phi} = 144 \text{ мм}^{-1}$  при  $R'_o = 225 \text{ мм}^{-1}$  (отличная коррекция объектива) и  $R_{\phi} = 400 \text{ мм}^{-1}$ , а при  $R'_o = 113 \text{ мм}^{-1}$  (хорошая коррекция объектива) и  $R_{\phi} = 400 \text{ мм}^{-1}$  имеем  $R_{o/\phi} = 88 \text{ мм}^{-1}$ , что ближе к данным таблицы 2 и также подтверждает, что коррекции aberrаций не были отличными.

Рассчитаем значения  $R_{o/\phi}$  для разрешающих способностей объективов, приведенных в таблице 1. Результаты поместим в таблицу 4.

**Таблица 4 – Разрешающая способность  $R_{o/\phi}$  системы «объектив – фотопленка»**

$f, \text{ мм}$	88	153	213	303
$R_{o/\phi}, \text{ мм}^{-1}$	55	99	126	138

Расхождения между разрешающими способностями, полученными (табл. 3 и 4) при фокусных расстояниях 88 и 153 мм, незначительны и при расчете разрешающей способности  $R_{o/\phi}$  можно использовать как формулу (9), так и формулу (10).

При калибровке в паспорте АФА в случае, когда определяют разрешающую способность, указывают ее значение не только для каждой зоны, но и средневзвешенное значение  $R_{cp.взв.}$ .

Результаты калибровки аэрофотоаппаратов разных типов, которые были в нашем распоряжении, приведены в таблице 5

Таблица 5 – Результаты калибровки аэрофотоаппаратов разных типов

Тип АФА	Страна калибровки	$f$ , мм	№ объектива	$n_o$	$R_{cp.взв.}$ (на краю – в центре), мм <sup>-1</sup>
RC-20	Швейцария	213,377	7142	4	56 (30 – 102)
RC-30	США	153,209	1325	4	100 (80 – 134)
RC-30	США	153,240	13411	4	105 (80 – 134)
RC-30	США	152,47	–	4	97 (57 – 128)
RC-30	США	303,16	–	4	108 (85 – 118)
RC-30	США	302,97	–	4	105 (87 – 128)
RC-30	Швейцария	153,104	13212	4	–
ТЭ	Беларусь	201,220	5837	6	–
ТЭС	Беларусь	100,91	1003	6,3	–
ТЭС	Беларусь	99,173	3004	6,3	–

Для АФА с  $f = 88$  мм – нет данных. Как видим, при  $f = 153$  мм разрешающая способность выше, чем при  $f = 213$  мм, а при  $f = 303$  мм несколько выше, чем при  $f = 153$  мм. У аэрофотоаппаратов с большим фокусным расстоянием меньше разница между разрешающими способностями в центре поля зрения и на краю.

В литературе [8; 9] говорится, что разрешающая способность у АФА-ТЭ составляет 30 мм<sup>-1</sup> в центре и 18 мм<sup>-1</sup> на краю; у АФА-ТЭС – 30 мм<sup>-1</sup> в центре, 15 мм<sup>-1</sup> – на краю. Однако аэрофотоаппараты этих типов выпускались с разными фокусными расстояниями и, следовательно, разрешающие способности должны быть разными.

Сопоставим полученные значения разрешающих способностей в таблице 5 с данными таблицы 3.

При  $f = 153$  мм в таблице 3 получили результат, близкий к  $R_{cp.взв.}$

При  $f = 213$  мм и  $f = 303$  мм  $R_{cp.взв.}$  значительно ниже расчетного.

Как видим, для многих аэрофотоаппаратов нет данных определения разрешающей способности. Авторы работ [8; 15] отмечают, что калибровка предполагает определение элементов внутреннего ориентирования и дисторсии. То есть из всех аберраций в большинстве случаев определяют только дисторсию. Возможно, разрешающую способность при калибровке определяют только по желанию заказчика.

Однако, как свидетельствует вышесказанное, рассчитать разрешающую способность с требуемой точностью нельзя. Каждый объектив уникален и имеет свою разрешающую способность, а без данных о разрешающей способности снимка нельзя рассчитать разрешение при сканировании. Поэтому при калибровке необходимо обязательно определять разрешающую способность объектива  $R_o$  или системы «объектив – фотопленка»  $R_{o/\phi}$ .

Если в ходе калибровки определена разрешающая способность системы «объектив – фотопленка», то дальнейший расчет результирующей разрешающей способности не составит труда. В этом случае необходимо определить еще два входящих в формулу (3) коэффициента ФПМ, учитывающих влияние атмосферы и сдвига изображения.

Оптическая толщина атмосферы  $\tau$  равна сумме молекулярной толщины  $\tau_M$  и аэрозольной толщины  $\tau_a$ ;  $\tau = \tau_M + \tau_a$  [10]. В свою очередь, с достаточной для практики точностью и длиной волны  $\lambda = 0,555$  мкм  $\tau_M \approx 0,00879\lambda = 0,00488$ , а  $\tau_a \approx 1,2\alpha_{a,\lambda} = 0,298$ ,  $\tau = \tau_M + \tau_a = 0,302$  [10].

Аэрофотосъемку рекомендуют выполнять при высоте Солнца над горизонтом не ниже 20° [7].

Примем зенитное расстояние Солнца  $Z = 60^\circ$ . В этом случае число масс  $m_Z = 2$  [10], а оптическая толщина атмосферы может быть вычислена по формуле:

$$\tau_Z = \tau m_Z. \quad (11)$$

Оптическая толщина прямо пропорциональна приведенной высоте  $H_{II}$ , которая определяется в зависимости от фактической высоты полета  $H$  по формуле [10]:

$$H_{II} = 8,0(1 - \exp[-0,13H]), \quad (12)$$

и оптическая толщина атмосферы  $\tau_H$  для высоты полета  $H$  будет согласно [10] следующей:

$$\tau_H = \frac{\tau_z}{8,0} H_{II}. \quad (13)$$

Влияние атмосферы можно учесть с помощью коэффициента прозрачности атмосферы  $T(N)_a$ , который рассчитывается в зависимости от высоты съемки по формуле:

$$T(N)_a = \exp[-\tau_H]. \quad (14)$$

Разрешающая способность с учетом атмосферы  $R_{o/\phi/a}$  будет

$$R_{o/\phi/a} = R_{o/\phi} T(N)_a. \quad (15)$$

Значения приведенных высот  $H_{II}$  для разных фактических высот полета  $H$ , а также  $\tau_H$  и  $T(N)_a$  запишем в таблице 6.

**Таблица 6 – Значения приведенной высоты фотографирования  $H_{II}$  и коэффициентов прозрачности атмосферы  $T(N)_a$**

$H$ , км	0,3	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	5,0
$H_{II}$ , км	0,306	0,975	1,417	1,832	2,220	2,584	3,824
$\tau_H$	0,023	0,074	0,107	0,138	0,167	0,195	0,289
$T(N)_a$	0,98	0,93	0,90	0,87	0,85	0,82	0,75

На разрешающую способность системы «объектив – фотопленка – атмосфера» повлияет сдвиг изображения, возникающий из-за того, что камера во время экспонирования совершает совместно с летательным аппаратом линейное перемещение относительно снимаемой местности.

Учесть влияние сдвига можно с использованием выражения [8; 12]:

$$R_{o/\phi/a/cдв.} = \frac{R_{o/\phi/a}}{\sqrt{1 + (R_{o/\phi/a} \sigma_w)^2}}, \quad (16)$$

где сдвиг изображения  $\sigma_w$  можно вычислить по формуле [8; 9]:

$$\sigma_w = \frac{W}{m} t. \quad (17)$$

Здесь  $W$  – путевая скорость самолета;  $m$  – знаменатель масштаба фотографирования;  $t$  – выдержка.

Как видим, разрешающая способность будет постоянно меняться в зависимости от входящих в формулу (17) параметров. И для конкретного случая аэросъемки будет своя разрешающая способность снимков.

Рассчитаем результирующую разрешающую способность при съемке с разных высот полета  $H$ , выполненной при путевой скорости самолета  $W = 150$  км/ч (42 м/с), выдержке 1/300 с и разных масштабов фотографирования 1: $m$ , для АФА с  $f = 153$  мм, приняв  $R_{o/\phi} = 100$  мм<sup>-1</sup>. Результаты расчетов приведем в таблице 7.

**Таблица 7 – Значения результирующей разрешающей способности**

$H$ , м	300	1000	2000	3000
$m$	1960	6500	13000	19600
$T(N)_a$	0,98	0,93	0,87	0,82
$R_{o/\phi/a}$ , мм <sup>-1</sup>	98	93	87	82
$\sigma_w$ , мм	0,0709	0,0214	0,0107	0,071
$R_{o/\phi/a/cдв.}$ , мм <sup>-1</sup>	14	42	64	71

Как видно из таблицы 7, получили существенные различия в значениях разрешающей способности.

В случае если вместо пленочного АФА используется цифровой, последовательность расчета разрешающей способности точно такая же, как и у пленочного, но вместо пленки используется ПЗС-линейка или ПЗС-матрица, разрешающая способность которой может быть вычислена по следующей формуле [6; 8]:

$$R_{ПЗС} = 1/2l, \quad (18)$$

где  $l$  – размер пиксела на линейке или матрице ПЗС.

#### 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 снимков / А.А. Михеева // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2012. – № 16. – С. 122–125.
3. Мышляев, В.А. Оценка точности цифровых ортофотопланов / В.А. Мышляев // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С. 25–27.
4. Аэрофотоаппаратура и аэрофотографирование. Термины и определения: ГОСТ 23935-79. – Введен 01.01.1981. – М.: Госстандарт СССР.
5. Кононов, В.И. Основы методики расчета разрешающей способности и точности определения координат аэрофотографических систем / В.И. Кононов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geomatica.kiev.ua>.
6. Живичин, А.Н. Дешифрирование фотографических изображений / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. – М.: Недра, 1980. – 253 с.
7. Аэрофотосъемочные работы. Справочник аэрофотосъемщика / А.А. Попов [и др.]. – М.: Транспорт, 1984. – 200 с.
8. Савиных, В.П. Аэрокосмическая фотосъемка / В.П. Савиных, А.С. Кучко, А.Ф. Стеценко. – М.: «Картгеоцентр» – «Геодезиздат», 1997. – 378 с.
9. Лаврова, Н.П. Аэрофотосъемка. Аэрофотосъемочное оборудование / Н.П. Лаврова, А.Ф. Стеценко. – М.: Недра, 1981. – 296 с.
10. Кучко, А.С. Аэрофотография / А.С. Кучко. – М.: Недра, 1974. – 272 с.
11. Мальцев, М.Д. Прикладная оптика и оптические измерения / М.Д. Мальцев, Г.А. Каракулина. – М.: Машиностроение, 1968. – 472 с.
12. Стеценко, А.Ф. Учебное пособие по курсу «Аэрофотосъемка»: Проектирование аэрофотосъемочных работ / А.Ф. Стеценко. – М.: Изд-во МИИГАиК, 1995. – 48 с.
13. WILD RC-20. Aerifl camera system: проспект фирмы Leica [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [td-str.ru/file.aspx?id](http://td-str.ru/file.aspx?id).
14. Щербаков, Я.Е. Расчет и конструирование аэрофотоаппаратов / Я.Е. Щербаков. – М.: Машиностроение, 1979. – 264 с.
15. Назаров, А.С. Фотограмметрия / А.С. Назаров. – Минск: ТетраСистемс, 2006. – 368 с.

Поступила 18.02.2015

#### CALCULATION OF CAMERA RECORD RESOLUTION ABILITY

A. MIKHEEVA, V. YALTYKHAU

*Camera record resolution ability plays an important role in photographic survey, especially in photo interpretation. Thus, it is necessary to know the resolution capacity of taken and future aero photos. The resolution ability is influenced by many factors: lens aberrations, photographic tape or CCD-receiver resolution, atmosphere and etc. The paper also reviews different of resolution ability pre-calculation. This calculation showcases that resolution ability can't be pre-calculated with enough accuracy as every camera lens is unique and has its own resolution ability. Therefore, during the aero camera calibration it is necessary to define not only distortion, but also the resolution ability of the system lens – phototape. Then there is no difficulty taking into account the impact of atmosphere, image shift and other factors.*