

## Определение линейного разрешения на местности оптико-электронных систем с учетом контраста штриховой миры

### Determination of linear resolution on the ground of optical-electronic systems taking into account the contrast of the line test-objects

**Молчанов / Molchanov A.**

Андрей Сергеевич

(andryoe@yandex.ru)

доктор технических наук, доцент,

член-корреспондент Академии военных наук.

Государственный летно-испытательный

центр им. В. П. Чкалова,

начальник отдела.

г. Ахтубинск

**Ключевые слова:** оптико-электронная система – optical-electronic system, линейное разрешение – linear resolution, тест-объект – test-object, распознавание – recognition

В статье рассмотрена возможность оценивания характеристик линейного разрешения на местности авиационных оптико-электронных систем и систем дистанционного зондирования по штриховым мирам заданного контраста. Представлен способ пересчета линейного разрешения на местности, полученных по штриховым мирам пониженного контраста в процессе испытаний. Решена задача объективного оценивания линейного разрешения на местности при отсутствии штриховых мир конкретного контраста, необходимого для проверки соответствия линейного разрешения на местности требованиям тактико-технического задания, за счет исключения необходимости обеспечения наличия всех штриховых мир, входящих в номенклатуру, и обеспечения возможности оценивания линейного разрешения на местности по штриховым мирам, реально имеющимся в наличии.

The article considers the possibility of estimating the characteristics of linear resolution on the ground of aviation optical-electronic systems and remote sensing systems by test-objects of a given contrast. A method for recalculating the linear resolution on the ground, obtained from test-objects of reduced contrast during testing, is presented. The problem of objective estimation of the linear resolution on the ground in the absence of a test-objects of specific contrast is solved, which is necessary to check the compliance of the linear resolution on the ground with the requirements of the tactical and technical building, eliminating the need to ensure the presence of all the test-objects included in the nomenclature and providing the possibility of estimating the linear resolution on the ground using the test-objects actually available.

Авиационные оптико-электронные системы (ОЭС) и системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в процессе испытаний и опытной эксплуатации подтверждают заданные требования в тактико-техническом задании Заказчика. В соответствии с нормативно-техническими документами системы общих технических требований перед принятием в эксплуатацию каждого типа ОЭС проводятся их государственные летные испытания, целью которых является подтверждение заданных в тактико-техническом задании характеристик [1, 2]. Существующие методы испытаний предусматривают аэросъемку участка местности с расположенными на нем штриховыми мирами (тест-объектами). Затем группа операторов-дешифровщиков дает экспертную оценку качества и определяет визуальным способом величину разрешения ОЭС, которая заключается в поиске минимальной распознанной группы штрихов миры [1, 4, 5].

Разрешение на местности ( $L$ ) – характеристика, определяемая шириной черной или белой полосы такого элемента, расположенной на местности миры, изображение которого на аэрофотоснимке еще может быть дешифрировано [1, 5, 6, 7, 8].

Разрешающая способность (РС) – характеристика системы, определяемая максимальной пространственной частотой периодической решетки, штрихи которой визуальны различимы в изображении на аэроснимке, образованном данной системой при использовании в качестве объекта стандартной миры заданного контраста [1, 3, 5].

Общим для этих тест-объектов независимо от способа их изготовления является то, что они практически не защищены от воздействия внешних факторов в течение длительного срока эксплуатации, в резуль-

тате чего контраст миры, который был при ее изготовлении и аттестации, быстро изменяется.

Поскольку стоимость изготовления новых тест-объектов высока, а поддерживать постоянный их контраст в процессе длительной эксплуатации не всегда оказывается возможным, возникает проблема пересчета значений линейного разрешения на местности (ЛРМ) оптико-электронных систем, определяемым по мирам, контраст которых может быть измерен непосредственно перед проведением летного эксперимента, к значениям линейного разрешения на местности, определяемым по мирам заданного контраста.

Эмпирические соотношения, позволяющие выполнить данный пересчет, были получены Сендвиком и Истоминым в 20–40-х годах. Как и все эмпирические соотношения они с той или иной степенью точности описывают некоторые физические явления применительно к определенным условиям эксперимента, при которых осуществлялся набор статистического материала [2, 3]. Изменения этих условий заставляет вновь осуществлять большой объем экспериментов для подтверждения полученных соотношений или их корректировки.

Поскольку реальные тест-объекты не являются пространственными синусоидами, всегда возникают сомнения в справедливости результатов, полученных при использовании указанных соотношений.

В связи с этим была поставлена задача решить данную проблему аналитическим методом, используя пространственно-частотные подходы к оценке качества оптико-электронных систем.

Пусть на вход ОЭС, подвергаемой испытаниям, воздействует изображение штриховой миры абсолютного контраста  $B_{nk=1}(x, y)$ , где  $x, y$  – пространственные координаты, и пониженного контраста  $B_{nk<1}(mx, my)$ , где  $m$  – масштабный коэффициент. Каждая мира состоит из  $n$  светлых, равных по ширине параллельных штрихов на темном фоне. Ширина промежутка между штрихами должна быть равна ширине штриха (рис. 1а).

Пространственно-частотный спектр входного сигнала согласно  $B_{nk<1}(mx, my)$ , описывается выражением [9, 10]:

$$b_{k=1}(V_x, V_y) = B_{k=1}nad \frac{\sin 2\pi V_x nd}{2\pi V_x nd} \cdot \frac{\sin \pi V_y a}{\pi V_y a} \cdot \frac{1}{\cos \pi V_x d}, \quad (1)$$

где  $a$  – длина штриха миры,  $d$  – ширина штриха миры,  $n$  – число светлых (темных) штрихов миры,  $V_x, V_y$  – пространственные частоты по осям  $x$  и  $y$  соответственно.

Для математического описания миры пониженного контраста воспользуемся изображением миры абсолютного контраста, описываемой функцией  $kB_{k=1}(mx, my)$ , где

$$k = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max} + B_{\min}}, \quad (2)$$

где  $k$  – модуляционный контраст штриховой миры, задаваемый в ТТЗ для тест-объектов (мир),  $B_{\max}, B_{\min}$  – амплитуды сигналов (светлых полос) мир описываемых выражениями  $B_{nk=1}(x, y)$  и  $kB_{nk=1}(mx, my)$ , (рис. 1а).

Пространственно-частотный спектр штриховой миры пониженного контраста можно представить суммой функций описывающих миры абсолютного контраста с разной амплитудой светлых штрихов и их числом (рис. 1а).

$$B_{nk=1}(mx, my) = B_{\max nk=1}(mx, my) + B_{\min(n-1)k=1}(mx, my). \quad (3)$$

Поскольку стоит задача сравнения значений линейного разрешения на местности оптико-электронных систем, определяемых по мирам различного контраста ( $L_{k=1}$  – линейное разрешение, определенное по мире абсолютного контраста,  $L_{k<1}$  – линейное разрешение, определенное по мире пониженного контраста), а такое сравнение происходит по оси частот  $V_x$  при фиксированном значении  $V_y$ , то в этом случае по многим соображениям в качестве такого фиксированного значения целесообразно выбрать  $V_y = 0$ .

Величина амплитуды пространственно-частотного спектра миры абсолютного контраста с учетом (2) на частоте разрешения  $V_x = L_{k=1}$  по оси  $V_x$  при  $V_y = 0$  может быть представлена выражением:

$$b_n(L_{k=1}, 0) = \lim_{\substack{2V_x d \rightarrow 1 \\ V_x \rightarrow L_{k=1} \\ V_y \rightarrow 0}} a \left[ B_{\max} \frac{\sin 2\pi V_x nd}{2\pi V_x} \cdot \frac{\sin \pi V_y a}{\pi V_y a} \cdot \frac{1}{\cos \pi V_x d} \right] = (-1)^{n-1} B_{\max} \frac{na}{\pi L_{k=1}^b}. \quad (4)$$

С учетом (3) пространственно-частотный спектр миры пониженного контраста на частоте разрешения  $V_x = L_{k<1}$  по оси  $x$  описывается выражением:

$$b_n(L_{k<1}, 0) = \lim_{\substack{V_x \rightarrow L_{k<1} \\ V_y \rightarrow 0}} [b_n^*(V_x, V_y) + b_{n-1}^*(V_x, V_y)] = \frac{na^*}{\pi L_{k<1}^b} [(-1)^{n-1} n B_{\max} + (-1)^{n-2} (n-1) B_{\min}] \quad (5)$$

Из условий равенства порогов зрительного восприятия предельной пространственной частоты, определяемой по мире абсолютного контраста и пониженного контраста, можно записать:

$$b_n(L_{k=1}, 0) = b_n(L_{k<1}, 0). \quad (6)$$

На выходе оптико-электронной системы

$$W(L_{k=1}^b, 0) \cdot b_n^b(L_{k=1}^b, 0) = W(L_{k<1}^b, 0) \cdot b_n^b(L_{k<1}^b, 0). \quad (7)$$

С учетом (7) можно записать

$$L_{k=1}^b = L_{k<1}^b \sqrt{\frac{W(L_{k=1}^b, 0)}{W(L_{k<1}^b, 0)} \cdot \frac{k(2n-1)+1}{(1+k)n}}. \quad (8)$$

Выражение (8) позволяет производить пересчет линейного разрешения ОЭС, определенной по мире (светлые штрихи на темном фоне) абсолютного контраста к ЛРМ той же ОЭС, определенной по миру пониженного контраста.

Приведенные выше выражения применимы при оценке ЛРМ по штриховым мирам, представляющим собой набор темных штрихов на светлом фоне [1, 11, 12, 13, 14, 15].

Функция, описывающая изображение мира малого контраста на светлом фоне, имеет вид (рис. 16).

$$B_{nk<1}^w(mx, my) = B_{\max} - B_{n\max k<1}^b(mx, my) + B_{n\min k<1}^b(mx, my). \quad (9)$$

Функция, описывающая изображение мира абсолютного контраста на светлом фоне, имеет вид (рис. 16).

$$B_{nk=1}^w(x, y) = B_{\max} - B_{n\max k=1}^b(x, y). \quad (10)$$

Из условия равенства порогов зрительного восприятия предельной пространственной частоты, определяемой по миру абсолютного контраста и пониженного контраста, можно записать:

$$\lim_{\substack{V_x \rightarrow L_{k=1}^w \\ V_y \rightarrow 0}} \{W(V_x, V_y) \cdot [F(B_{\max} - B_{n\max k=1}^b(x, y))]\} = \lim_{\substack{V_x \rightarrow L_{k<1}^w \\ V_y \rightarrow 0}} \{W(V_x, V_y) \cdot [F(B_{\max} - B_{n\max k<1}^b(mx, my) + B_{n\min k<1}^b(mx, my))]\}. \quad (11)$$

где  $F$  – оператор Фурье преобразования.

Выражение (11) может быть записано в виде:

$$\lim_{\substack{V_x \rightarrow L_{k=1}^w \\ V_y \rightarrow 0}} \{W(V_x, V_y) \cdot [F(B_{n\max k=1}^b(x, y))]\} = \lim_{\substack{V_x \rightarrow L_{k<1}^w \\ V_y \rightarrow 0}} \{W(V_x, V_y) \cdot [F(B_{n\max k<1}^b(mx, my) - B_{n\min k<1}^b(mx, my))]\}. \quad (12)$$

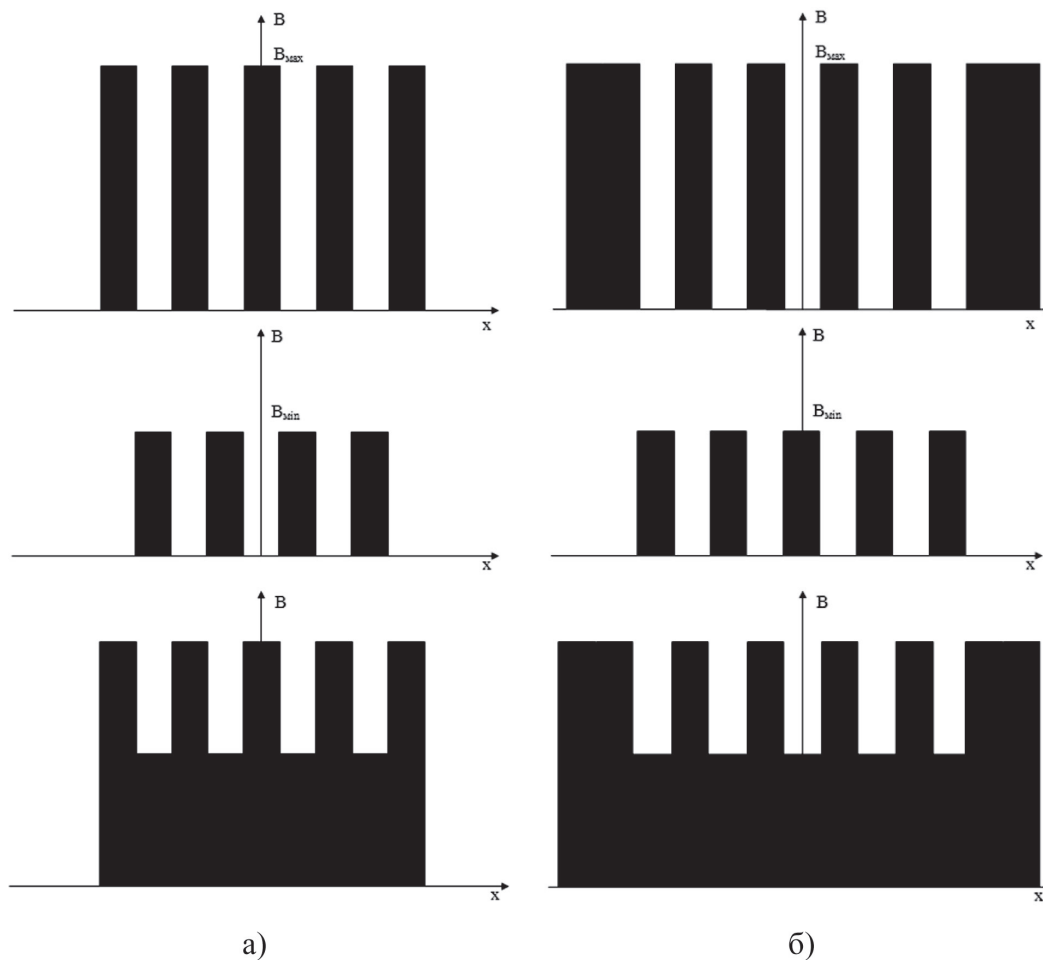


Рис. 1. Амплитуды сигналов (штрихов) штриховой миры

Поскольку существует только одно значение  $W(V_x, V_y)$ , где  $\delta(V_x, V_y) \neq 0$  ( $V_x = 0, V_y = 0$ ), то:

$$\begin{aligned} \lim_{\substack{V_x \rightarrow L_{k-1} \\ V_y \rightarrow 0}} W(V_x, V_y) \cdot F(B_{\max}) &= B_{\max} \delta(L_{k-1}, 0) \cdot W(L_{k-1}, 0) = \\ &= \lim_{\substack{V_x \rightarrow L_{k-1} \\ V_y \rightarrow 0}} W(V_x, V_y) \cdot F(B_{\max}) = B_{\max} \delta(L_{k-1}, 0) \cdot W(L_{k-1}, 0), \end{aligned}$$

где  $\delta(V_x, V_y)$  – дельта-функция.

С учетом (4) выражение (12) после выполнения преобразований может быть представлено в виде:

$$\frac{W(L_{k-1}, 0)}{(L_{k-1}^w)^2} = \frac{W(L_{k-1}, 0)}{(L_{k-1}^w)^2} \cdot \frac{2k}{k+1}, \quad (13)$$

откуда

$$L_{k-1}^w = L_{k-1}^w \cdot \sqrt{\frac{W(L_{k-1}, 0)}{W(L_{k-1}, 0)} \cdot \frac{2k}{k+1}}. \quad (14)$$

В отличие от выражения (8) формула (14), позволяющая осуществлять пересчет линейного разрешения на местности оптико-электронных систем, определяемой по миру (темные штрихи на светлом фоне) абсолютного контраста к линейному разрешению на местности той же оптико-электронной системе, определяемой по миру пониженного контраста, не зависит от числа штрихов мира [11, 14, 15].

В выражениях (8) и (14) значение  $L_{k-1}$  и зависимость  $W(V_x, 0)$  определяются экспериментально. Значение  $k$  задается тактико-техническим заданием.

Далее, подставляя значения  $L_{k-1}$ , начиная с  $L_{k-1}$  в сторону уменьшения, находим решение уравнений (8) и (14). Подобные формулы пересчета были известны и ранее.

Формула Сендвика:

$$R_{k-1}^w = R_{k-1} (1 - 10^{-\Delta D_m}) = R_{k-1} \frac{2k}{k+1}, \quad (15)$$

где  $\Delta D_m = D_{\max} - D_{\min}$ ,  $D_{\max}, D_{\min}$  – соответственно оптические плотности темных и светлых штрихов.

Формула Фризера устанавливает связь между полученной РС и заданной РС в зависимости от заданного интервала плотности между штрихом и промежутком мира  $\Delta D$  [1, 10]:

$$R = R_{\max} \sqrt{\frac{1 - 10^{-\Delta D}}{1 + 10^{-\Delta D}}}, \quad (16)$$

где  $R$  – РС по миру абсолютного контраста,  $R_{\max}$  – РС по миру с контрастом  $k$ .

При постоянной разности плотностей на пределе разрешения  $\Delta D_{\text{пред}} = \text{const}$ , формулу (16) можно записать:

$$R_{k-1} = R_{k-1} \sqrt{k}. \quad (17)$$

Формула Истомина:

$$R_{k-1} = R_{k-1} (k)^{0,36}. \quad (18)$$

Известны методики оценивания ЛРМ [1, 7, 11, 13]:

1. Расчета полученного ЛРМ ( $L_p$ ) по миру заданного контраста.

2. Прогнозируемого ЛРМ ( $L_{\text{пр}}$ ) по миру заданного контраста.

Для расчета полученного ЛРМ по миру заданного контраста формула примет вид:

$$L_p = L_{\max} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_{\text{ТТЗ}}}}, \quad (19)$$

где  $L_p$  – итоговое значение ЛРМ, которое сопоставляется с требованиями ТТЗ,  $L_{\max}$  – значение, полученное при проведении летного эксперимента

Если при проведении летного эксперимента получено значение ЛРМ на местности  $L=0.5$  по миру абсолютного контраста, то для заданного в ТТЗ контраста мира  $K$  (например  $K=0.4$ ) ЛРМ составит  $L=0.79$ .

Для общего случая формула (10) может быть представлена [1, 11, 13]:

$$L_p = L_{\max} \sqrt{\frac{K_p}{K_{\text{ТТЗ}}}}, \quad (20)$$

где  $K_p$  – реальный контраст мира,  $K_{\text{ТТЗ}}$  – контраст мира заданный в ТТЗ.

Для расчета прогнозируемого ЛРМ по миру заданного контраста формула примет вид:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{ТТЗ}} \cdot \sqrt{K_{\text{ТТЗ}}}, \quad (21)$$

где  $L_{\text{пр}}$  – итоговое прогнозируемое ЛРМ для мира заданного контраста, которое необходимо будет получить при выполнении летного эксперимента, чтобы подтвердить требования ТТЗ,  $L_{\text{ТТЗ}}$  – ЛРМ, заданное в ТТЗ.

Если в ТТЗ задано ЛРМ на местности  $L=0.5$  для контраста мира  $K$  (например  $K=0.4$ ), то по миру абсолютного контраста необходимо получить ЛРМ на местности  $L=0.3$ , чтобы подтвердить заданное в ТТЗ требование.

Для общего случая формула (12) может быть представлена [1, 11, 13]:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{ТТЗ}} \sqrt{\frac{K_{\text{ТТЗ}}}{K_p}}. \quad (22)$$

Формулы (15)–(22) не учитывают зависимость результата пересчета от числа штрихов в используемой для оценки разрешающей способности штри-

ховой миры и от частотной характеристики ОЭС, что позволяет использовать их лишь при приближенных оценках ОЭС.

Значения поправочных коэффициентов, позволяющих осуществлять пересчет значений разрешающей способности ОЭС и их звеньев, определяемых по мирам абсолютного контраста к их значениям, определяемым по мирам пониженного контраста, представлена в таблице 1. Значения числа штрихов миры приведены для  $n=5$ , что соответствует ГОСТ 2819-84, и для  $n=10$ , что соответствует максимальному числу штрихов в ранее применявшихся при проведении испытаний ОЭС.

На практике не существует мир абсолютного контраста, можно говорить лишь о мирах, по своему контрасту близким к абсолютному, или о мирах с известным контрастом (который может значительно отличаться от абсолютного).

В этом случае формулы пересчета значений ЛРМ, определяемым по мирам известного контраста  $k_{изм}$ , к значениям ЛРМ, определяемым по мирам заданного контраста, имеют вид:

$$L_{кшз}^w = L_{k<1}^w \cdot \sqrt{\frac{W(L_{кшз}^w, 0)}{W(L_{k<1}^w, 0)} \cdot \frac{k}{k+1} \cdot \frac{k_{изм} + 1}{k_{изм}}} \quad (23)$$

и

$$L_{кшз}^b = L_{k<1}^b \cdot \sqrt{\frac{W(L_{кшз}^b, 0)}{W(L_{k<1}^b, 0)} \cdot \frac{k(2n-1)+1}{k+1} \cdot \frac{k_{изм} + 1}{1+k_{изм}(2n-1)}} \quad (24)$$

Выражение (23) и полученная на его основе формула (24) не учитывают различия в шумах изображения, имеющего место при определении ЛРМ по изображениям мир различного контраста, и учитывает условие равенства порогов зрительного восприятия. При прове-

дении летных испытаний ОЭС предельная пространственная частота (ЛРМ), получаемая в процессе аэро съемки, существенно ниже предельной пространственной частоты потенциальных возможностей ОЭС, что с достаточной степенью точности позволяет считать, что в диапазоне пространственных частот, в котором работают реальные ОЭС, шум изображения равномерен.

Применительно к ОЭС оценка окажется более точной, если исходить из условия равенства отношения сигнал/шум, где в качестве сигнала выступает амплитуда спектра сигнала предельной пространственной частоты, определяемая по мирам абсолютного и пониженного контрастов, а в качестве шума – пространственно-частотный спектр дисперсии изображения, соответствующий спектральной плотности (энергетический спектр) изображений мир абсолютного и пониженного контрастов.

### Заключение

1. В работе аналитическим методом получены соотношения, позволяющие выполнять пересчет значений ЛРМ ОЭС, определяемых по мирам известного контраста, к значениям ЛРМ, определяемым по мирам заданного контраста.

2. Полученные соотношения показывают, что результаты пересчета в той или иной степени зависят от пространственно-частотных характеристик ОЭС, характеристик (энергетического спектра) шумов изображения, числа штрихов миры в случае, когда мира представляет собой ряд светлых штрихов на темном фоне.

3. Полученные соотношения учитывают все основные характеристики ОЭС, вместе с тем они требуют своего дальнейшего уточнения, обусловленного «одномерностью» используемого при оценке качества численного показателя ЛРМ.

Таблица 1

k	Формула Сендвика $\frac{2k}{k+1}$	Формула Фризера $\sqrt{k}$	Формула Истомина $(k)^{0,36}$	$\sqrt{\frac{2k}{k+1}}$	$\sqrt{\frac{k(2n-1)+1}{(k+1)n}}$	
					n=5	n=10
0,1	0,18	0,32	0,44	0,43	0,59	0,51
0,2	0,33	0,44	0,56	0,58	0,68	0,63
0,3	0,46	0,54	0,65	0,68	0,75	0,72
0,4	0,57	0,63	0,72	0,76	0,81	0,78
0,5	0,66	0,71	0,78	0,82	0,86	0,84
0,6	0,75	0,77	0,83	0,87	0,89	0,88
0,7	0,82	0,84	0,88	0,91	0,93	0,92
0,8	0,89	0,89	0,92	0,94	0,95	0,95
0,9	0,95	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98

4. Решена задача объективного оценивания ЛРМ ОЭС при отсутствии мир конкретного контраста, необходимого для проверки соответствия ЛРМ требованиям ТТЗ на ОЭС, исключив необходимость обеспечения наличия всех штриховых мир, входящих в номенклатуру и обеспечив возможность оценивания ЛРМ по штриховым мирам, реально имеющимся в наличии.

### Литература

1. Молчанов, А. С. Теория построения иконических систем воздушной разведки / А.С. Молчанов. – Волгоград : Панорама, 2017. – 224 с.
2. Дубинский, Г. П. Методы оценки качества оптических систем / Г.П. Дубинский, В.И. Кононов, А.Ф. Федоровский. – Москва : Машиностроение, 1978. – 231 с.
3. Вендровский, К. В. Фотографическая структурометрия / К.В. Вендровский, А.И. Вейцман. – Москва : Искусство, 1982. – 272 с.
4. Свиридов, К. Н. Разрешающая способность и линейное разрешение для оценки качества и проектирования аэрокосмических систем дистанционного зондирования Земли / К.Н. Свиридов, А.Е. Тюлин // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2022. – Т. 9, № 1. – С. 9–29.
5. Вендровский, К. В. Исследование взаимосвязи визуальной и информационной оценок изображения / К.В. Вендровский, А.И. Вейцман, Л.М. Арбузкина // Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии. – 1975. – Т. 20, № 2. – С. 91–97.
6. Тюлин, А. Е. Критерий РКС оценки линейного инструментального разрешения КА ДЗЗ на местности для совершенного проектирования оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) КА ДЗЗ / А.Е. Тюлин, К.Н. Свиридов // Информация и Космос. – 2020. – № 2. – С. 140–147.
7. Молчанов, А. С. Метод оценки линейного разрешения на пиксель цифровых аэрофотосистем при различном угловом положении штриховой миры относительно приемника оптического излучения / А.С. Молчанов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 10. – С. 338–348.
8. Свиридов, К. Н. Новая технология оценки и максимизации предельного инструментального разрешения космических аппаратов дистанционного зондирования Земли на местности / К.Н. Свиридов, А.Е. Тюлин // Информация и Космос. – 2019. – № 2. – С. 118–124.
9. Молчанов, А. С. Пространственно-частотная математическая модель цифровой оптико-электронной системы воздушной разведки / А.С. Молчанов // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности : труды конференции Имитационное моделирование. (ИММОД–2019) (Екатеринбург, 16–18 октября 2019 г.). – 2019. – С. 178–184.
10. Чаусов, Е. В. Математическое и программное обеспечение обработки цифровых изображений при оценивании линейного разрешения аэрофотографических систем /

Е.В. Чаусов, А.С. Молчанов // Кибернетика и программирование. – 2020. – № 1. – С. 42–52.

11. Молчанов, А. С. Методика определения линейного разрешения на местности на пиксель оптико-электронной системы при проведении летных испытаний / А.С. Молчанов // Информация и Космос. – 2019. – № 2. – С. 93–98.

12. Чаусов, Е. В. Способ оценивания линейного разрешения инфракрасных систем дистанционного зондирования Земли / Е.В. Чаусов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 2. – С. 141–149.

13. Патент № 2789602 С1. Способ определения функции передачи модуляции цифровых оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли ; № 2022116455 : заявл. 20.06.2022 : опубл. 06.02.2023 / А.С. Молчанов ; патентообладатель А.С. Молчанов.

14. Патент № 2789603 С1. Способ определения функции передачи модуляции авиационных цифровых оптико-электронных систем ; № 2022116457 : заявл. 20.06.2022 : опубл. 06.02.2023 / Е.В. Чаусов ; патентообладатель Е.В. Чаусов.

15. Чаусов, Е. В. Программно-методический комплекс обработки изображений при проведении летных испытаний иконических оптико-электронных систем / Е.В. Чаусов, А.С. Молчанов // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81, № 1. – С. 26–33.