

**Рубцов Иван Васильевич** – тел.: 84992636019; кафедра специальной робототехники и мехатроники; зав. кафедрой; к.т.н.

**Anikin Viktor Andreevich** – PLC «Kamov»; e-mail: v.anikin@kamov.ru; 8a, 8 Marta street, Ljubercy, Moskovskoj oblasti, 140007, Russia; phone: +74959944800 (д. 732); chief designer; dr. of eng. sc.

**Kim Nikolaj Vladimirovich** – Moscow Aviation Institute (National Research University); e-mail: nkim2011@list.ru; 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russia; phone: +74991584549; division 704; cand. of eng. sc.; professor.

**Noskov Vladimir Petrovich** – Bauman Moscow State Technical University; e-mail: noskov\_mstu@mail.ru; 5, 2nd Baumanskaya street, Moscow, 105005, Russia; phone: +79166766057; the department of special robotics and mechatronics; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Rubtsov Ivan Vasil'evich** – phone: +74992636019; the department of special robotics and mechatronics; chief of department; cand. of eng. sc.

УДК 582.87

**Н.И. Сельвесюк, Ю.Г. Веселов, А.С. Островский**

### **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСА ПОЛУЧЕНИЯ ВИДОВОЙ ИНФОРМАЦИИ\***

*Статья посвящена вопросам построения технического облика систем и комплексов получения видовой информации для решения типовых задач обнаружения и распознавания интересующих объектов в ходе дистанционного зондирования Земли. Предложенная модель основана на использовании математических моделей оптико-электронных систем, а также формул Живичина-Соколова и умножения вероятностей. Она позволяет осуществлять оценку вероятности распознавания интересующих объектов на изображениях цифровых оптико-электронных систем получения видовой информации видимого и инфракрасного диапазонов длин волн электромагнитного излучения. Использование модели предполагает выполнение ряда действий в следующей последовательности. На первом этапе проводится анализ значений параметров и характеристик оптико-электронной системы (или систем, работающих в составе комплекса, если проводится оценка возможностей комплекса получения видовой информации) и условий ее (их) применения. Далее проводится оценка линейного разрешения на местности по аэроснимку, полученному посредством применения интересующего средства с использованием специальных математических моделей оптико-электронных систем. Итоговым этапом является оценка показателя (показателей) результативности применения средств получения видовой информации. В качестве показателя результативности предлагается использовать вероятность распознавания объектов на изображении (в случае использования комплекса – вероятности распознавания объектов на изображениях каждой системы, входящей в состав комплекса). Вместе с тем, предложенная модель позволяет не только осуществлять прогнозирование возможностей средств получения видовой информации, но и оценивать оптимальные значения параметров и характеристик систем комплекса и условий применения по критерию максимального значения вероятности распознавания объектов по изображениям систем комплекса.*

*Оценка возможностей; средства получения видовой информации; оптико-электронные системы и комплексы; формула Живичина-Соколова; вероятность распознавания объекта на изображении; комплексирование систем; математические модели оптико-электронных систем.*

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 14-08-00640-а.

**N.I. Selvesyuk, Ju.G. Veselov, A.S. Ostrovskiy**

### **FUNCTIONAL MODEL OF IMAGERY COMPLEX**

*Paper refers to the technical construction of imagery systems and complexes for solving typical problems of detection and recognition of objects in Earth remote sensing. The proposed model is based on the use of mathematical models of electro-optical systems, as well as Zhivichin-Sokolov formulas and multiplication of probabilities. It allows to estimate the probability of recognition of objects in digital imagery electro-optical systems images in the visible and infrared wavelengths of electromagnetic radiation. Using the model involves a number of actions in the following sequence. At the first stage the analysis of the parameters and characteristics of the electro-optical system (or systems operating in the complex when assessing the possibility of imagery complex) and the conditions of its (their) application is held. Further, using special mathematical models of electro-optical systems an assessment of the linear ground resolution of aerial photographs, obtained by applying the mean. The final step is to assess the imagery means impact of use indicator (s). Is proposed to use the probability of recognition of objects in an image (in the case of the complex - the probability of recognition of objects in images of each system, as a part of the complex) as an impact of use indicator. However, the proposed model allows not only to predict the possibilities of imagery means, but also to estimate the optimal parameters and characteristics of complex systems and application by the criterion of maximum probability of recognition of objects in complex systems images.*

*Assessment of the possibilities; imagery means; electro-optical systems and complexes; Zhivichin-Sokolov formula; the probability of recognition an object in an image; systems integration; mathematical models of electro-optical systems.*

При решении задач дистанционного зондирования земной поверхности в целях обнаружения и распознавания интересующих объектов возникает необходимость прогнозирования возможностей средств получения видовой информации (ПВИ). В качестве таких средств широко используются цифровые оптико-электронные системы (ОЭС) ПВИ видимого и инфракрасного диапазонов длин волн электромагнитного излучения, а также комплексы (ОЭК), сформированные из таких систем.

Исследование процессов формирования изображений указанных систем и комплексов показало, что прогнозирование их возможностей может быть осуществлено путем априорной оценки результативности их применения, предполагающей построение математической модели системы, и использования этой модели для оценки параметров, являющихся исходными данными для определения показателя (показателей) результативности применения средств ПВИ.

Если применение этих средств предполагает обнаружение и распознавание объектов на изображении, то в качестве показателя результативности применения цифровых систем и комплексов ПВИ целесообразно использовать вероятность распознавания объектов на изображении (в случае использования комплекса – вероятности распознавания объектов на изображениях каждой системы, входящей в состав комплекса).

В настоящее время известен подход к оценке вероятности распознавания объектов на изображении, изложенный в [1] и предполагающий использование следующего выражения:

$$P^c = C \cdot \exp \left[ - \left( B \frac{A}{L} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где  $P^c$  – искомая вероятность,  $L$  – размер объекта,  $A$  – разрешение аэрофотоснимка,  $B$  – коэффициент распознавания формы,  $C$  – коэффициент, учитывающий влияние на качество распознавания взаимного положения элементов сложного объекта (для простых объектов принимается равным 1).

Несмотря на то, что указанное выражение является эмпирическим, оно имеет высокую сходимость с результатами реального распознавания и широко применяется научным сообществом для прогнозирования возможностей применения ОЭС ПВИ.

В работах [2, 3] предложены и в работе [4] апробированы математические модели цифровых ОЭС видимого и инфракрасного диапазонов длин волн электромагнитного излучения соответственно, основанные на расчете значений функций передачи модуляции (ФПМ) их звеньев и позволяющие оценить разрешение аэрофотоснимка в зависимости от параметров и характеристик ОЭС и условий их применения.

Для определения разрешающей способности ОЭС необходимо найти первый корень нелинейного уравнения

$$K \cdot T(N) - M(N) = 0, \quad (2)$$

где  $K$  – входной контраст,  $N$  – пространственная частота,  $T(N)$  – ФПМ ОЭС,  $M(N)$  – пороговая модуляционная характеристика, принимаемая равной 0,02. Решением уравнения является предельная пространственная частота, численно равная разрешающей способности в линиях на мм.

ФПМ ОЭС видимого и инфракрасного диапазонов вычисляются с использованием следующего выражения:

$$T(N) = T_A(N) \cdot T_{до}(N) \cdot T_{сф}(N) \cdot T_{вф}(N) \cdot T_{пи}(N), \quad (3)$$

где  $T_A(N)$  – ФПМ атмосферы,  $T_{до}(N)$  – ФПМ дифракционного объектива,  $T_{сф}(N)$  – ФПМ системы фокусировки,  $T_{вф}(N)$  – ФПМ вибрации фотоустановки,  $T_{пи}(N)$  – ФПМ приемника излучения.

ФПМ звеньев ОЭС видимого диапазона имеют следующий вид:

$$T_A(N) = \frac{\exp[-2(\pi \cdot f \cdot \sigma_H \cdot N)^2]}{1 + 2\rho_D}, \quad (4)$$

где  $f$  – фокусное расстояние объектива,  $\sigma_H$  – коэффициент турбулентности атмосферы на высоте  $H$ ,  $\rho_D$  – коэффициент яркости дымки;

$$T_{до}(N) = \frac{2}{\pi} \left[ \arccos\left(\frac{\lambda \cdot f \cdot N}{d_{вх}}\right) - \frac{\lambda \cdot f \cdot N}{d_{вх}} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda \cdot f \cdot N}{d_{вх}}\right)^2} \right], \quad (5)$$

где  $\lambda$  – длина волны излучения, соответствующая середине диапазона съемки,  $d_{вх}$  – диаметр входного отверстия;

$$T_{сф}(N) = \text{sinc}\left(\frac{\sqrt{3} \Delta f}{2 f} d_{вх} \cdot N\right), \quad (6)$$

где  $\Delta f$  – погрешность фокусировки объектива;

$$T_{вф}(N) = \exp[-2(\pi \cdot f \cdot \sigma_B \cdot N)^2], \quad (7)$$

где  $\sigma_B$  – среднеквадратическое отклонение вибрации фотоустановки;

$$T_{пи}(N) = \text{sinc}(a_{пи} \cdot N), \quad (8)$$

где  $a_{пи}$  – размер фотоэлемента приемника излучения.

ФПМ системы фокусировки, вибрации фотоустановки, а также приемника излучения ОЭС инфракрасного диапазона определяются с помощью выражений (6-8), соответственно. В свою очередь ФПМ атмосферы и дифракционного объектива ОЭС инфракрасного диапазона имеют вид

$$T_A(N) = \frac{\int_{\lambda_H}^{\lambda_B} \frac{1}{1 + \frac{\tau_A(\lambda)}{\tau_A(\lambda)}} \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot [\exp(\frac{C_2}{\lambda \cdot T}) - 1]} d\lambda}{\int_{\lambda_H}^{\lambda_B} \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot [\exp(\frac{C_2}{\lambda \cdot T}) - 1]} d\lambda} \exp[-2(\pi \cdot f \cdot \sigma_H \cdot N)^2], \quad (9)$$

где  $\lambda_H$ ,  $\lambda_B$  – нижняя и верхняя границы длин волн излучения, соответственно,  $\tau_A(\lambda)$  – спектральный коэффициент пропускания излучения атмосферой,  $T$  – усредненная температура атмосферы,  $C_1$ ,  $C_2$  – константы Планка;

$$T_{\text{ДО}}(N) = \frac{\int_{\lambda_{\text{H}}}^{\lambda_{\text{B}}} \left\{ \frac{2}{\pi} \left[ \arccos \left( \frac{\lambda \cdot f \cdot N}{d_{\text{ВХ}}} - \frac{\lambda \cdot f \cdot N}{d_{\text{ВХ}}} \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda \cdot f \cdot N}{d_{\text{ВХ}}} \right)^2} \right) \right] \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left[ \exp \left( \frac{C_2}{\lambda \cdot T} \right) - 1 \right]} \right\} d\lambda}{\int_{\lambda_{\text{H}}}^{\lambda_{\text{B}}} \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left[ \exp \left( \frac{C_2}{\lambda \cdot T} \right) - 1 \right]} d\lambda}, \quad (10)$$

В свою очередь разрешение аэрофотоснимка

$$A = \frac{H}{2 \cdot f \cdot R}, \quad (11)$$

где  $R$  – разрешающая способность ОЭС, определяемая решением уравнения (2).

Исследование возможности оценки результативности применения ОЭС с использованием математических моделей и выражения (1) позволило разработать соответствующую методику, содержание которой иллюстрируется рис. 1.

Использование результатов исследований, изложенных в [1, 5] позволяет автоматизировать процесс оценки результативности применения ОЭС и оценивать зависимость результативности от параметров и характеристик ОЭС и условий их применения.

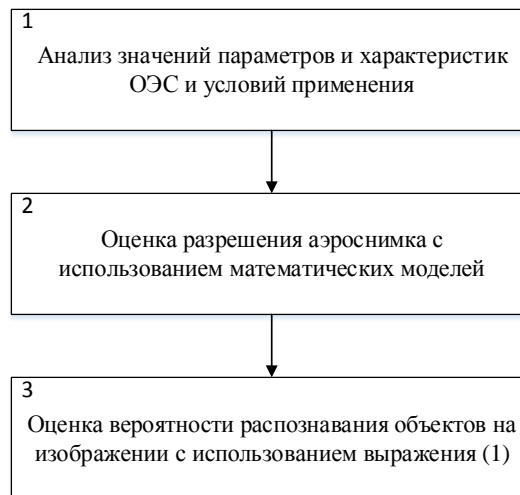


Рис. 1. Содержание методики оценки результативности ОЭС ПВИ

Таким образом, функциональные модели ОЭС ПВИ видимого и инфракрасного диапазона имеет вид

$$P_{\text{ВД}}^c = \text{func}_1(C, B, L, H, f, d_{\text{ВХ}}, \lambda, \Delta f, \sigma_{\text{В}}, a_{\text{ПИ}}); \quad (12)$$

$$P_{\text{ИК}}^c = \text{func}_2(C, B, L, H, f, d_{\text{ВХ}}, \lambda_{\text{H}}, \lambda_{\text{В}}, \Delta f, \sigma_{\text{В}}, a_{\text{ПИ}}).$$

Оценка результативности применения ОЭС является более сложной задачей, так как предполагает оценку мультипликативного эффекта прироста результативности применения при комплексировании ОЭС.

Указанный эффект предлагается рассчитывать с использованием следующего выражения:

$$P^k = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i^c), \quad (13)$$

где  $P^k$  – вероятность распознавания объектов по изображениям систем комплекса,  $P_i^c$  – вероятность распознавания объекта на изображении системы,  $N$  – количество систем в исследуемом комплексе.

Таким образом, содержание методики оценки результативности применения ОЭС, состоящего из двух ОЭС (видимого и инфракрасного диапазона длин волн) имеет вид, представленный на рис. 2.



Рис. 2. Содержание методики оценки результативности ОЭК ПВИ

Указанная методика позволяет осуществлять прогнозирование возможностей ОЭК ПВИ исходя из значений параметров и характеристик ОЭС, входящих в состав комплекса, и условий их применения.

Таким образом, функциональная модель ОЭК ПВИ имеет вид

$$P^K = \text{func}_3(C, B, L, H, f_i, d_{\text{ВХ}i}, \lambda_{\text{Н}i}, \lambda_{\text{В}i}, \Delta f_i, \sigma_{\text{В}i}, a_{\text{П}i}). \quad (14)$$

Рассмотрим условно-реальный комплекс ПВИ, который состоит из двух ОЭС (видимого и инфракрасного диапазона длин волн). Параметры и характеристики этих систем и условий их применения представлены в табл. 1. Для апробации предложенной функциональной модели было разработано программное обеспечение, реализующее пункты 2, 3 методики оценки результативности ОЭС ПВИ и пункты 2, 3, 5, 6, 7 методики оценки результативности ОЭК ПВИ.

С использованием методики (см. рис. 2) представляется возможным выполнить оценку зависимости вероятностей распознавания объектов на изображениях каждой ОЭС или совместной вероятности распознавания объектов при использовании систем комплекса, к примеру, от линейного размера объекта или любого другого параметра (характеристики), представленного в таблице 1.

В результате расчета получено:

- ◆ разрешающая способность ОЭС видимого диапазона составляет 54 пары линий на мм;
- ◆ линейное разрешение на местности ОЭС видимого диапазона – 1,53 см;
- ◆ разрешающая способность ОЭС инфракрасного диапазона – 26 пар линий на мм;
- ◆ линейное разрешение на местности ОЭС инфракрасного диапазона – 3,21 см.

Зависимости вероятностей распознавания прямоугольного объекта (имеющего коэффициент формы 1,45 [1]) по изображениям каждой ОЭС и совместной вероятности распознавания объекта при использовании систем комплекса от линейных размеров этих объектов представлены на рис. 3.

Таблица 1

**Исходные данные для выполнения расчета**

Группа параметров (характеристик)	Наименование параметра (характеристики), ед. изм.	Значение параметра (характеристики)
Условия применения	Высота съемки, м	500
ОЭС видимого диапазона	Фокусное расстояние, м	0,3
	Диаметр входного отверстия, м	0,3
	Длина волны излучения, соответствующая середине диапазона съемки, м	$0,55 \cdot 10^{-6}$
	Погрешность фокусировки объектива, м	$10^{-5}$
	Среднеквадратическое отклонение вибрации фотоустановки, рад	$10^{-7}$
	Размер фотоэлемента приемника излучения, м	$6 \cdot 10^{-6}$
ОЭС инфракрасного диапазона	Фокусное расстояние, м	0,4
	Диаметр входного отверстия, м	0,3
	Нижняя граница длин волн излучения, м	$10 \cdot 10^{-6}$
	Верхняя граница длин волн излучения, м	$12 \cdot 10^{-6}$
	Погрешность фокусировки объектива, м	$10^{-5}$
	Среднеквадратическое отклонение вибрации фотоустановки, рад	$10^{-7}$
	Размер фотоэлемента приемника излучения, м	$17 \cdot 10^{-6}$

На рис. 4, 5 представлены зависимости вероятностей распознавания прямоугольного объекта с линейным размером 30 см от высоты съемки и диаметра входного отверстия объектива ОЭС видимого диапазона соответственно.

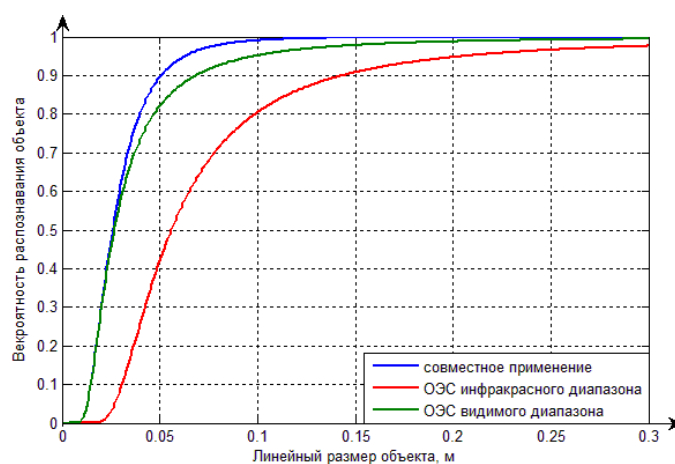


Рис. 3. Зависимости вероятностей распознавания объекта от линейного размера объекта

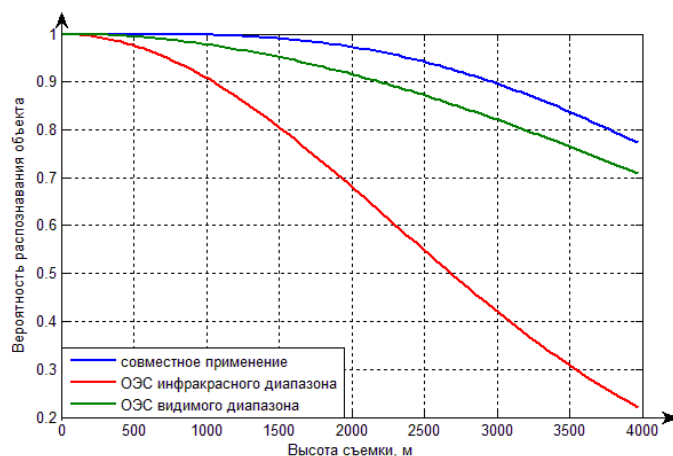


Рис. 4. Зависимости вероятностей распознавания объекта от высоты съемки

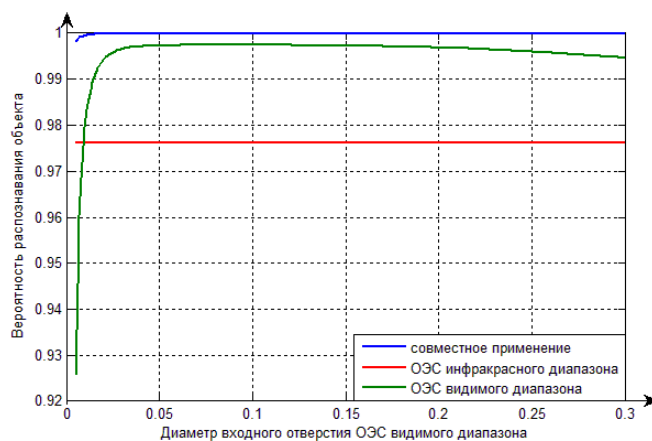


Рис. 5. Зависимости вероятностей распознавания объекта от диаметра входного отверстия ОЭС видимого диапазона

Таким образом, предложенная функциональная модель позволяет не только осуществлять прогнозирование возможностей средств ПВИ, но и оценивать оптимальные значения параметров и характеристик систем комплекса и условий применения по критерию максимального значения вероятности распознавания объектов по изображениям систем ОЭК.

В заключение необходимо отметить, что функциональная модель может получить дальнейшее развитие в продолжение работ [1, 2]. Развитие заключается в более полном описании возможностей ОЭС посредством использования не только представленных пространственно-частотных, но и фотометрических (энергетических) и фотограмметрических моделей ОЭС [6–12], а также изыскания научно-технических путей повышения точности оценки вероятности распознавания объектов на изображении [13–20] для повышения достоверности прогноза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Живичин А.Н., Соколов В.С. Дешифрирование фотографических выражений. – М.: Недра, 1980. – 253 с.
2. Веселов Ю.Г., Глушко В.А., Молчанов А.С. Математическая модель аэрофотосистемы, построенной на основе фоточувствительных приборов с переносом заряда // Наука и образование. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – Вып. 10.
3. Веселов Ю.Г., Гулевич С.П., Карпиков И.В., Островский А.С. Математическая модель цифровой инфракрасной системы дистанционного зондирования Земли // Наука и образование. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – Вып. 6.
4. Веселов Ю.Г., Островский А.С., Сельвесюк Н.И., Красавин И.В. Оценка предельного разрешения цифровых оптико-электронных систем дистанционного зондирования земли с использованием теории линейных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 84-89.
5. Живичин А.Н., Поддубный С.И. Определение коэффициентов распознавания формы топографических объектов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1978. – Вып. 1.
6. Веселов Ю.Г., Островский А.С., Сельвесюк Н.И. Анализ факторов, влияющих на эффективность оптико-электронных комплексов получения видовой информации // Сборник статей XXV Всероссийской конф. «Прием, передача, обработка и отображение информации о быстротекающих процессах» (Сочи, 6–10 октября 2014 г.). – М.: РПА «АПР», 2014.
7. Kerekes J.P. and Landgrebe D.A. An Analytical Model of Earth-Observational Remote Sensing Systems // IEEE Trans. Syst. Man Cybern. – 1991. – № 21 (1).
8. Schott J.R. Remote Sensing: The Image Chain Approach (Oxford University Press, New York, 1997).
9. Accetta J.S. and Schumaker D.L. The Infrared and ElectroOptical Systems Handbook 4: Electro-Optical Systems Design, Analysis, and Testing, M.C. Dudzik, ed. (Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Mich., 1993).
10. Торшина И.П. Компьютерное моделирование оптико-электронных систем первичной обработки информации. – М.: Университетская книга, Логос, 2009. – 248 с.
11. Торшина И.П. Методика разработки обобщенной компьютерной модели оптико-электронной системы // Известия вузов. Приборостроение. – 2008. – № 3.
12. Тарасов В.В., Якушников Ю.Г. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения. – М.: Логос, 2007. – 192 с.
13. Ethridge, M.M. Geometric Analysis of Singly and Multiply Scanned Aircraft Digital Data Arrays, Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1977.
14. Förstner W. A Feature Based Correspondence Algorithm for Image Matching, International Archives of Photogrammetry. – 1986. – № 26 (3).
15. Shin D., Lee H., and Wonkyu P. Stereoscopic GCP Simulation Model for the Assessment of Camera Modeling Algorithms, ISSDQ Proceedings, Hongkong, China, 2003.
16. Zorin D., Barr A.H.: Correction of geometric perceptual distortions in pictures. Computer Graphics 29 (1995).
17. Веселов Ю.Г., Островский А.С., Губарь М.Н. Комплексирование оптико-электронных систем получения видовой информации // Академические Жуковские чтения. Современные проблемы и перспективные направления развития комплексов авиационного оборудования: Сб. науч. ст. по материалам II Всеросс. НПК (25-27 ноября 2014 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014.
18. Веселов Ю.Г., Захарченко А.Н., Островский А.С. Использование метода автоматического распознавания в задачах контроля технического состояния цифровых оптико-электронных комплексов получения видовой информации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. – 2014. – Вып. 5 (98).
19. Веселов Ю.Г., Островский А.С., Данилов Д.Ю., Гулевич С.П., Сельвесюк Н.И. Методика формализации задачи комплексирования технических систем получения видовой информации // Материалы Всероссийской научно-технич. конференции "XI Научные чтения, посвященные памяти Н.Е. Жуковского: Сборник докладов. – М.: Издательский дом Академии имени Н.Е. Жуковского, 2014.



20. *Veselov Yu.G., Ostrovskiy A.S., Sel'vesyuk N.I.* Анализ факторов, влияющих на эффективность оптико-электронных комплексов получения видовой информации // Сборник статей XXV Всероссийской конф. «Прием, передача, обработка и отображение информации о быстротекающих процессах» (Сочи, 6–10 октября 2014 г.). – М.: РПА «АПР», 2014.

## REFERENCES

1. *Zhivichin A.N., Sokolov V.S.* Deshifrirovaniye fotograficheskikh vyrazheniy [Interpretation of photographic expression]. Moscow: Nedra, 1980, 253 p.
2. *Veselov Yu.G., Glushko V.A., Molchanov A.S.* Matematicheskaya model' aerofotosistemy, postroyennoy na osnove fotochuvstvitel'nykh priborov s perenosom zaryada [Mathematical model of agroforestry constructed on the basis of photosensitive devices with charge transfer], *Nauka i obrazovanie* [Science and education]. Moscow: MGTU im. N.E. Bauman, 2013, Issue 10.
3. *Veselov Yu.G., Gulevich S.P., Karpikov I.V., Ostrovskiy A.S.* Matematicheskaya model' tsifrovoy infrakrasnoy sistemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli [A mathematical model of the digital system infrared remote sensing], *Nauka i obrazovanie* [Science and education]. Moscow: MGTU im. N.E. Bauman, 2012, Issue 6.
4. *Veselov Yu.G., Ostrovskiy A.S., Sel'vesyuk N.I., Krasavin I.V.* Otsenka predel'nogo razresheniya tsifrovyykh optiko-elektronnykh sistem distantsionnogo zondirovaniya zemli s ispol'zovaniem teorii lineynykh sistem [Estimation of the limiting resolution of digital optoelectronic systems of remote sensing using the theory of linear systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 3 (140), pp. 84-89.
5. *Zhivichin A.N., Poddubnyy S.I.* Opredeleniye koeffitsientov raspoznavaniya formy topograficheskikh ob'ektov [Determination of the coefficients of the shape recognition topographical features], *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka* [Izvestiya vuzov. Geodesy and aerial photography], 1978, Issue 1.
6. *Veselov Yu.G., Ostrovskiy A.S., Sel'vesyuk N.I.* Analiz faktorov, vliyayushchikh na effektivnost' optiko-elektronnykh kompleksov polucheniya vidovoy informatsii [Analysis of factors affecting the efficiency of opto-electronic complexes of obtaining specific information], *Sbornik statey XXV Vserossiyskoy konf. «Priem, peredacha, obrabotka i otobrazhenie informatsii o bystrotekayushchikh protsessakh» (Sochi, 6–10 oktyabrya 2014 g.)* [A collection of articles XXV all-Russian Conf. "The reception, transmission, processing and display of information on fast dynamic processes" (Sochi, October 6-10, 2014)]. Moscow: RPA «APR», 2014.
7. *Kerekes J.P. and Landgrebe D.A.* An Analytical Model of Earth-Observational Remote Sensing Systems, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 1991, No. 21 (1).
8. *Schott J.R.* Remote Sensing: The Image Chain Approach (Oxford University Press, New York, 1997).
9. *Accetta J.S. and Schumaker D.L.* The Infrared and ElectroOptical Systems Handbook 4: Electro-Optical Systems Design, Analysis, and Testing, M.C. Dudzik, ed. (Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Mich., 1993).
10. *Torshina I.P.* Komp'yuternoe modelirovaniye optiko-elektronnykh sistem pervichnoy obrabotki informatsii [Computer simulation of optoelectronic systems of primary information processing]. Moscow: Universitetskaya kniga, Logos, 2009, 248 p.
11. *Torshina I.P.* Metodika razrabotki obobshchennoy komp'yuternoy modeli optiko-elektronnoy sistemy [The methodology of the development of a generalized computer model optoelectronic systems], *Izvestiya vuzov. Priborostroeniye* [Izvestiya vuzov. Instrumentation], 2008, No. 3.
12. *Tarasov V.V., Yakushenkov Yu.G.* Dvukh- i mnogodiapazonnye optiko-elektronnye sistemy s matrichnymi priemnikami izlucheniya [Two- and multi-band optical-electronic system with matrix light receiver]. Moscow: Logos, 2007, 192 p.
13. *Ethridge, M.M.* Geometric Analysis of Singly and Multiply Scanned Aircraft Digital Data Arrays, Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1977.
14. *Förstner W.* A Feature Based Correspondence Algorithm for Image Matching // International Archives of Photogrammetry, 1986, No. 26 (3).
15. *Shin D., Lee H., and Wonkyu P.* Stereoscopic GCP Simulation Model for the Assessment of Camera Modeling Algorithms, ISSDQ Proceedings, Hongkong, China, 2003.

16. Zorin D., Barr A.H. Correction of geometric perceptual distortions in pictures. Computer Graphics 29 (1995).
17. Veselov Yu.G., Ostrovskiy A.S., Gubar' M.N. Kompleksirovanie optiko-elektronnykh sistem polucheniya vidovoy informatsii [The integration of optical and electronic systems of obtaining specific information], *Akademicheskie Zhukovskie chteniya. Sovremennye problemy i perspektivnye napravleniya razvitiya kompleksov aviatsionnogo oborudovaniya: Sb. nauch. st. po materialam II Vseross. NPK (25-27 noyabrya 2014 g.)* [Academic Zhukovsky readings. Contemporary issues and future directions the development of clusters of aircraft equipment: Sbornik scientific articles in the proceedings of the II all-Russian. SPC (25-27 November 2014)]. Voronezh: VUNTs VVS «VVA», 2014.
18. Veselov Yu.G., Zakharchenko A.N., Ostrovskiy A.S. Ispol'zovanie metoda avtomaticheskogo raspoznavaniya v zadachakh kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya tsifrovyykh optiko-elektronnykh kompleksov polucheniya vidovoy informatsii [The use of the method of automatic recognition in problems of control of technical condition of digital opto-electronic complexes of obtaining specific information] *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya Priborostroeniye* [Vestnik MGTU im. N. E. Bauman. Series Instrumentation], 2014, Issue 5 (98).
19. Veselov Yu.G., Ostrovskiy A.S., Danilov D.Yu., Gulevich S.P., Sel'vesyuk N.I. Metodika formalizatsii zadachi kompleksirovaniya tekhnicheskikh sistem polucheniya vidovoy informatsii [Methodology the formulation of the problem of integration of technical systems obtain specific information], *Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnich. konferentsii "XI Nauchnye chteniya, posvyashchennye pamyati N.E. Zhukovskogo: Sbornik dokladov* [All-Russian scientific and technical. conference "XI Scientific readings dedicated to the memory of N. E. Zhukovsky: a Collection of papers]. Moscow: Izdatel'skiy dom Akademii imeni N.E. Zhukovskogo, 2014.
20. Veselov Yu.G., Ostrovskiy A.S., Sel'vesyuk N.I. Analiz faktorov, vliyayushchikh na effektivnost' optiko-elektronnykh kompleksov polucheniya vidovoy informatsii [Analysis of factors affecting the efficiency of opto-electronic complexes of obtaining specific information], *Sbornik statey XXV Vserossiyskoy konf. «Priem, peredacha, obrabotka i otobrazhenie informatsii o bystroprotekeyushchikh protsessakh» (Sochi, 6–10 oktyabrya 2014 g.)* [A collection of articles XXV all-Russian Conf. "The reception, transmission, processing and display of information on fast dynamic processes" (Sochi, October 6-10, 2014)]. Moscow: RPA «APR», 2014.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Харьков.

**Сельвесюк Николай Иванович** – ФУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»; e-mail: niselvesuk@2100.gosniias.ru; 125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7; тел.: +74997590069; главный научный сотрудник; д.т.н.; доцент.

**Веселов Юрий Геннадиевич** – Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; e-mail: fukunaga@inbox.ru; 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1; тел.: +74997590069; д.т.н.; доцент.

**Островский Александр Сергеевич** – e-mail: aleksandr\_ostrovsky@mail.ru; тел.: +74997590069; к.т.н.; ассистент.

**Sel'vesyuk Nikolay Ivanovich** – FGUP «State Research Institute of Aviation Systems»; e-mail: niselvesuk@2100.gosniias.ru; 7, Viktorenko street, Moscow, 125319, Russia; phone: +74997590069; leading researcher; dr. of eng. sc.; associate prof. ssor.

**Veselov Uryi Gennadievitch** – Bauman Moscow State Technical University; e-mail: fukunaga@inbox.ru; 5/1, 2-ya Baumanskaya street, Moscow, 105005, Russia; phone: +74997590069; dr. of eng. sc.; associate professor.

**Ostrovskiy Alexandr Sergeevitch** – e-mail: aleksandr\_ostrovsky@mail.ru; phone: +74997590069; cand. of eng. sc.; assistant.