



УДК 621.3.681.3

© 2015 г. **А.Н. Захарченко**, д-р техн. наук  
(ФГУП 18 ЦНИИ Минобороны России),

**Ю.Г. Веселов**, канд. техн. наук,

**А.С. Островский**, канд. техн. наук,

**Н.И. Сельвесюк**, д-р техн. наук

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

## МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИФРОВЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ, АДАПТИВНЫЙ К УСЛОВИЯМ ПРИМЕНЕНИЯ И РЕШАЕМЫМ ЗАДАЧАМ\*

Предложено для диагностики цифровых оптико-электронных комплексов получения видовой информации воспользоваться статистической теорией распознавания образов. Разработан автоматизированный метод оценки технического состояния таких комплексов, адаптивный к условиям применения и решаемым задачам. Проведена экспериментальная проверка разработанного метода на реальном цифровом оптико-электронном комплексе получения видовой информации OSDCAM4060 – «Цифровик».

**Ключевые слова:** цифровые оптико-электронные системы, оптико-электронные комплексы получения видовой информации, оценка технического состояния, стратегия эксплуатации, показатели качества изображения, статистические системы распознавания.

### Введение

В настоящее время цифровые оптико-электронные комплексы (ОЭК) получения видовой информации (ПВИ) широко используются при решении задач дистанционного зондирования земной поверхности. Важной народнохозяйственной задачей является обеспечение наиболее полного использования их характеристик. Решение этой задачи требует непрерывного совершенствования способов и методов технической эксплуатации оптико-электронных систем (ОЭС) и ОЭК ПВИ и дальнейшего развития их инструментальной базы – автоматических и автоматизированных систем контроля (оценки) технического состояния.

Эффективность применения ОЭС ПВИ напрямую зависит от их технического состояния. Наилучшим образом заданные уровни надежности, готовности и эффективности применения средств ПВИ обеспечиваются при использовании стратегии технической эксплуатации и ремонта по состоянию с контролем параметров, базирующейся на автоматизированном контроле качества изображения

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-08-00640-а).

совместно с системами встроенного контроля [1].

Применение методов контроля качества изображения обеспечит повышение показателей результативности мониторинга земной поверхности, – таких как своевременность и полнота решения задач, а также позволит реализовать гибкие правила управления техническим состоянием с целью существенного сокращения числа и объема профилактических и восстановительных работ при максимальном использовании ресурса оптико-электронного оборудования. Таким образом, перспективным направлением является создание и внедрение в эксплуатацию бортовых и наземно-бортовых комплексных систем автоматизированной оценки технического состояния ОЭК ПВИ, учитывающих условия применения и решаемые задачи дистанционного зондирования земной поверхности.

Реализация стратегии эксплуатации по состоянию возможна только при наличии достоверной информации о текущем техническом состоянии объекта контроля (диагностирования), причем средства и методы контроля должны обеспечивать оценку технического состояния по возможности без демонтажа оборудования с носителя и с применением минимального количества тестового и контрольно-проверочного оборудования. С учетом этих требований основными способами оценки технического состояния при обслуживании по состоянию могут являться контроль бортовой аппаратуры средств ПВИ по материалам их применения по тестовым полигонам и без них. Особенно актуально это для цифровых ОЭК ПВИ, так как особенности их конструкции и принципы получения изображения не всегда позволяют получить достоверную информацию об их техническом состоянии средствами встроенного контроля.

В статье предложена методологическая основа для автоматизированной оценки технического состояния цифровых ОЭК ПВИ относительно решаемых задач и условий применения. Важным этапом исследования является экспериментальная проверка работоспособности предлагаемого метода на реальном цифровом ОЭК ПВИ. Такая экспериментальная проверка позволяет провести настройку «чувствительности» метода.

### **Аспекты статистической теории распознавания образов в задачах оценки технического состояния ОЭК ПВИ**

В настоящее время перспективным направлением в области автоматического и автоматизированного контроля и технической диагностики является разработка статистических методов неразрушающего контроля, которые обеспечивают проведение необходимых измерений параметров или показателей качества изделий без ухудшения присущих им свойств [2, 3]. Задача автоматизированного контроля состояния ОЭС базируется на методах автоматического распознавания и может быть сформулирована как статистическая задача принятия решения о наличии одного из альтернативных диагностируемых состояний.

Решение такой задачи состоит из двух основных этапов [4, 5]. Первый этап заключается в восприятии информации о состоянии ОЭС и преобразовании ее к виду, удобному для последующей обработки. Второй этап состоит в выявлении содержащихся в контролируемых параметрах особенностей, которые, к примеру,

отличают работоспособное состояние ОЭС от неработоспособного. При этом принципиально важное значение имеют выбор, описание и анализ контролируемых параметров (признаков).

Оценка технического состояния ОЭС ПВИ по материалам применения основывается на определении качества получаемых видовых материалов посредством анализа значений показателей качества изображения. Таким образом, показатели качества изображения являются параметрами контроля технического состояния ОЭС ПВИ.

Под качеством понимается свойство изображения, характеризующее его способность нести в себе сведения о геометрических и энергетических характеристиках и параметрах объектов. Показатель качества изображения – величина, служащая конкретным индикатором этого свойства. К показателям качества изображения предъявляется ряд требований: они должны однозначно характеризовать свойства изображения и их изменение, а также быть применимыми для анализа каждого звена и оптико-электронной системы в целом.

Проблема выбора контролируемых параметров (признаков технического состояния) из полного набора показателей качества изображения – одна из ключевых в постановке задачи по оценке технического состояния ОЭС ПВИ. Выбранные из широкого перечня параметры контролируемой системы должны обладать максимальной информативностью. Наиболее информативный параметр ОЭС ПВИ – такой, который оказывает наибольшее влияние на качество получаемого этой системой изображения. При эксплуатации ОЭС ПВИ по состоянию основной задачей является идентификация вида технического состояния объекта эксплуатации. Для более объективной оценки состояния используются, как правило, несколько параметров (признаков) контроля, желательно не коррелированных друг с другом. Доказано, что ковариация признаков увеличивает вероятность ошибки в системах распознавания по критериям максимума апостериорной вероятности и максимума отношения правдоподобия [8].

### Метод оценки технического состояния цифровых ОЭС ПВИ

Для оценки технического состояния ОЭС ПВИ в силу случайности значений параметров контроля целесообразно воспользоваться статистической теорией распознавания образов. При этом в качестве объектов распознавания рассматриваются виды технического состояния цифровых ОЭС ПВИ: работоспособное (РС), предотказное (ПОС), частично неработоспособное (ЧНРС), полностью неработоспособное (ПНРС) [6], а в качестве признаков объектов распознавания – параметры (признаки) объекта контроля (рис. 1).

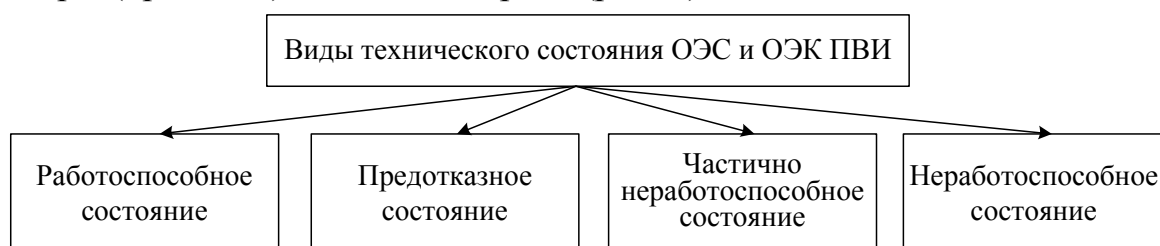


Рис. 1. Виды технического состояния ОЭС и ОЭС ПВИ.

Часто достоверные априорные сведения отсутствуют. В этом случае в качестве решающего правила классификации, по которому расчетные значения вектора признаков сравниваются с эталонными, выбирается критерий максимума функции правдоподобия.

Одной из особенностей ОЭС ПВИ является то, что в получаемых ими материалах содержится информация не только об их техническом состоянии, но и об условиях съемки. Причем влияние внешних условий настолько велико, что может ухудшить значения контролируемых параметров до значений, соответствующих неработоспособному состоянию ОЭС, хотя объективно исследуемая система находится в работоспособном состоянии. На рис. 2 представлен пример изменения качества изображения при различных высотах полета  $H$ .



Дешифрирование до класса – самолет  
 $H=6000\text{м}$

Дешифрирование до вида – транспортный самолет  
 $H=3000\text{м}$

Дешифрирование до типа – самолет Ан-26  
 $H=1500\text{м}$

Рис. 2. Изменение качества изображения при различных условиях применения.

Таким образом, разрабатываемая методика оценки технического состояния должна быть адаптивной к различным условиям и задачам применения, а именно – глубине дешифрирования материалов съемки, с точностью до вида, класса или типа. Это осуществляется посредством формирования эталонных признаков для каждой задачи и условий применения.

В качестве примера приведены также данные для двух различных условий применения ОЭС ПВИ: умеренная дымка с метеорологической дальностью видимости (МДВ) 2-3 км; ясные погодные условия при МДВ >10 км (табл. 1).

Таблица 1

		Работоспособные состояния		Неработоспособные состояния	
		РС	ПОС	ЧНРС	ПНРС
МДВ 2-3 км (условие № 1)					
Задачи (глубина дешифрирования)	Класс	+	+	+	-
	Вид	+	+	-	-
	Тип	-	-	-	-
МДВ >10 км (условие № 2)					
Задачи (глубина дешифрирования)	Класс	+	+	+	-
	Вид	+	+	+	-
	Тип	+	-	-	-

Таким образом, в примере рассмотрены три задачи: дешифрирование объектов до класса, вида и типа, а также определение четырех видов технического состояния (см. рис. 1). Анализ данных таблицы показывает, что ОЭС, находящаяся фактически в одном и том же техническом состоянии, в разных условиях применения обеспечивает выполнение разных задач. Например, при МДВ 2-3 км ОЭС в полностью работоспособном состоянии не обеспечивает дешифрирование объекта до типа, а в частично неработоспособном состоянии не обеспечивает дешифрирование объекта до вида, однако при МДВ > 10 км объект дешифрируется до типа.

Учесть влияние внешних условий на значение контролируемых параметров позволяют математическая модель ОЭС ПВИ, базирующаяся на линейной теории ОЭС и реализующая аналитический способ оценки разрешающей способности, а также специализированная методика оценки возможностей рассматриваемых систем ПВИ [7].

При разработке системы распознавания определяются эталонные признаки объектов для каждого класса. Причем эталонные признаки могут формироваться с использованием специального комплекса математических моделей ОЭС ПВИ, собранного статистического материала по результатам эксплуатации контролируемых систем (если он имеется), а также с использованием методического аппарата экспертных систем.

Предлагаемый в статье метод основан на вероятностном подходе и предполагает знание оценок математических ожиданий вектора признаков, а также разброс или связи внутри класса, задаваемые ковариационной матрицей. Из априорных данных формируется полное множество гипотез по классам. Расчетные признаки сравниваются с эталонными признаками. По минимуму расхождения принимается решение о принадлежности наблюдения к гипотезе [8, 9, 10].

В методе используется математическая модель наблюдения вектора признаков (параметров контроля) в виде  $\tilde{x} = x + \xi$ , где  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  – фактический вектор признаков;  $\xi$  – центрированный случайный вектор погрешностей.

Для оценки технического состояния цифровых кадровых ОЭС ПВИ, работающих в видимом диапазоне, в качестве параметров контроля используются: разрешающая способность  $R$ ; количество передаваемых градаций яркости  $m$ ; количество дефектных элементов фоточувствительного прибора с зарядовой связью (ФПЗС) или КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник) приемника излучения  $k$ ; составляющие дисторсии по координатным осям  $\delta x_{ВД}$ ,  $\delta y_{ВД}$ .

Вектор признаков для таких ОЭС будет иметь вид  $x = (R, m, k, \delta x_{ВД}, \delta y_{ВД})$ .

Для оценки технического состояния инфракрасных ОЭС в качестве параметров контроля используются: угловое  $\gamma$  и энергетическое  $\Delta T$  разрешение; количество дефектных элементов многоэлементного приемника излучения  $k$ ; составляющие дисторсии по координатным осям  $\delta x_{ИК}$ ,  $\delta y_{ИК}$ . Вектор признаков для таких ОЭС будет иметь вид  $x = (\gamma, \Delta T, k, \delta x_{ИК}, \delta y_{ИК})$ .

Вектор признаков для ОЭС ПВИ состоит из всех элементов векторов при-

знаков для ОЭС, входящих в состав рассматриваемого комплекса. Таким образом, вектор параметров контроля технического состояния ОЭК ПВИ, состоящего из двух систем – цифровой кадровой ОЭС ПВИ, работающей в видимом диапазоне, и инфракрасной системы (ИКС) ПВИ – будет иметь вид

$$x = (R, m, k, \delta x_{ВД}, \delta y_{ВД}, \gamma, \Delta T, k, \delta x_{ИК}, \delta y_{ИК}).$$

Методика идентификации вектора состояния объекта контроля  $x$  для оценки вида технического состояния ОЭК заключается в определении наиболее вероятного вектора математических ожиданий  $M_x$  и ковариационной матрицы  $R_x$  вектора  $x$ . Для расчета данных параметров необходимо решить две задачи: получить единственную реализацию  $\tilde{x}$ , которая формируется с использованием специализированного методического обеспечения оценки параметров контроля технического состояния; получить набор эталонных признаков для каждого вида технического состояния с учетом условий применения.

Для решения задачи идентификации определяется полное множество гипотез  $G = \{\Omega_0, \dots, \Omega_k, \dots, \Omega_{l-1}\}$ ,  $i = 0, \dots, l-1$ . Например, для двух условий наблюдения, трех поставленных задач и четырех видов технического состояния, представленных в табл. 1, можно сформировать две совокупности полных групп гипотез:

для условия №1 (МДВ 2-3 км)

$$\begin{pmatrix} \Omega_{11} & \Omega_{12} & \Omega_{13} & \Omega_{14} \\ \Omega_{21} & \Omega_{22} & \Omega_{23} & \Omega_{24} \\ \Omega_{31} & \Omega_{32} & \Omega_{33} & \Omega_{34} \end{pmatrix};$$

для условия №2 (МДВ >10км)

$$\begin{pmatrix} \Omega_{21} & \Omega_{22} & \Omega_{23} & \Omega_{24} \\ \Omega_{31} & \Omega_{32} & \Omega_{33} & \Omega_{34} \end{pmatrix}.$$

Принимается допущение, что вектор  $x$  характеризуется условной нормальной многомерной плотностью распределения

$$P(x/\Omega_\nu) \in N\{M(x/\Omega_\nu), R(x/\Omega_\nu)\}, \quad (1)$$

где  $\Omega_\nu$  – гипотеза, которая имеет место во время проведения измерения;  $M(x/\Omega_\nu)$  – вектор математических ожиданий эталонных признаков;  $R(x/\Omega_\nu)$  – ковариационная матрица вектора эталонных признаков.

Пример распределения трех скалярных признаков  $x_1, x_2, x_3$  для четырех распознаваемых гипотез приведен на рис. 3.

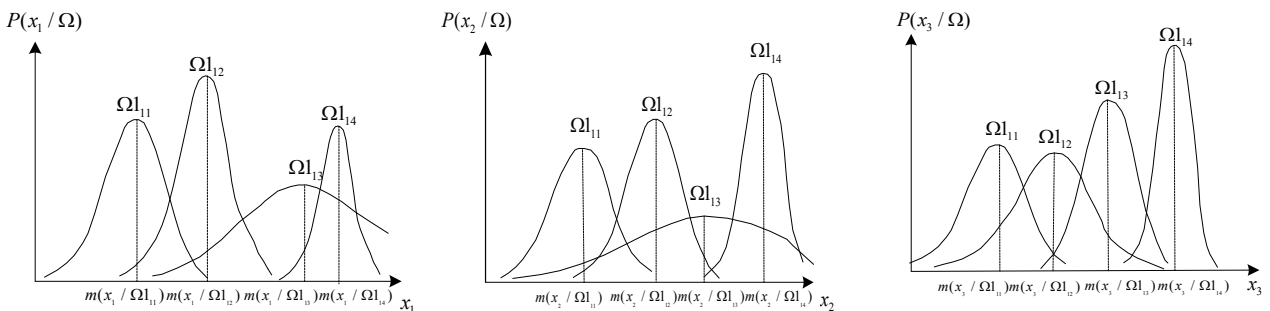


Рис. 3. Условные плотности распределения трех признаков для четырех проверяемых гипотез (четыре вида технического состояния).

Пусть во время измерений имеет место произвольная гипотеза  $\Omega \in G$ , тогда  $x$  можно представить в виде  $\tilde{x} = M(x/\Omega) + \xi$ , где  $M(x/\Omega_k)$  – вектор математических ожиданий эталонных признаков, или образов, имеющих в системе наблю-

дения.

Таким образом,  $x$  является случайным вектором, принадлежащим одной из  $l$  совокупностей (гипотез). При этом вектор  $x$  имеет нормальное распределение с плотностью

$$P(x/\Omega_k) = (2\pi)^{-\frac{m}{2}} |R(x/\Omega_k)|^{-\frac{1}{2}} \times \exp\left[-\frac{1}{2}(\tilde{x} - M(x/\Omega_k))^T R^{-1}(x/\Omega_k)(\tilde{x} - M(x/\Omega_k))\right].$$

Очевидно, что наблюдение  $\tilde{x}$  необходимо отнести к той гипотезе, для которой функция правдоподобия максимальна. Максимум функции правдоподобия определяется минимизацией оценочного функционала  $J_k$ , представляющего собой квадратичную форму вектора  $\tilde{x} - M(x/\Omega_k)$ , взвешенную матрицей  $R^{-1}(x/\Omega_k)$ , т.е.:

$$J_k = \|\tilde{x} - M(x/\Omega_k)\|_{R(x/\Omega_k)^{-1}}^2 = (\tilde{x} - M_k)^T R_k^{-1}(\tilde{x} - M_k), \quad (2)$$

где  $M_k = M(x/\Omega_k)$ ,  $R_k = R(x/\Omega_k)$ .

Таким образом, наиболее вероятный вектор математических ожиданий  $M(x/\Omega_k)$  и наиболее вероятная ковариационная матрица  $M(x/\Omega_k)$  определяются наиболее вероятной гипотезой  $\Omega_k$ , выбранной в результате операции  $\min_k J_k$ .

Схема, иллюстрирующая состав и содержание, а также поясняющая работу метода статистической оценки технического состояния цифровых ОЭС и ОЭК ПВИ, представлена на рис. 4.

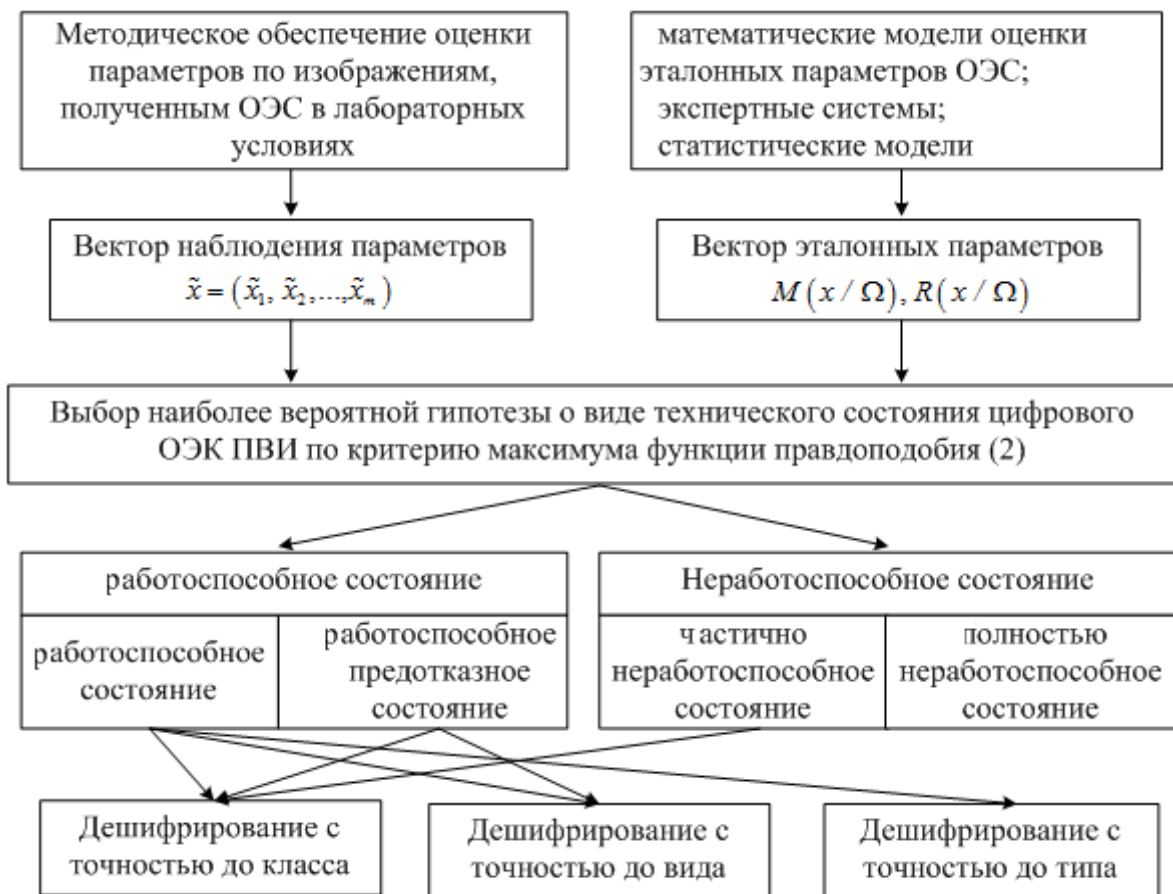


Рис. 4. Метод статистической оценки технического состояния цифровых ОЭС и ОЭК ПВИ.

Для оценки погрешности классификации состояний цифровых ОЭС и ОЭК ПВИ используется величина средней вероятности ошибки [11, 12], позволяющая заранее оценить качество признаков и решающего правила для любого количества гипотез. Для вычисления средней вероятности ошибки  $P_{\text{ош}}$  используются следующие величины:  $P_{kq}$  – условная вероятность того, что при наличии гипотезы  $\Omega_q$  принята гипотеза  $\Omega_k$ ;  $\Pi_{kq}$  – потери неправильного решения.

Математическое ожидание потерь, которое обычно называют средним риском, определяется выражением [8] вида  $R_{\Pi} = M(\Pi_{kq}) = \sum_{k=0}^{l-1} \sum_{q=0}^{l-1} \Pi_{kq} P_{kq}$ .

$$\text{Для простой функции потерь } \Pi_{kq} = \begin{cases} 0, & k = q, \\ 1, & k \neq q, \end{cases}$$

риск равен средней вероятности ошибки  $P_{\text{ош}}$  (неправильного решения)

$$P_{\text{ош}} = \sum_{k=0}^{l-1} \sum_{q=0}^{l-1} P_{kq}, \text{ при } k \neq q. \quad (3)$$

Если известно условное совместное распределение  $P(J/\Omega_q)$  вектора оценочных функционалов  $J = (J_0, \dots, J_k, \dots, J_{l-1})$ , то

$$P_{kq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \left( \int_{-\infty}^{J_k} \dots \int_{-\infty}^{J_k} P(J/\Omega_q) dJ_0 \dots dJ_{k-1} dJ_{k+1} \dots dJ_{l-1} \right) dJ_k. \quad (4)$$

Значение произвольного функционала  $J_k$  здесь рассматривается как случайная величина. Для вычисления интеграла (4) координаты вектора  $J$  пересчитываются в ортонормированный базис с помощью преобразования Карунена-Лоева [14]  $I = CJ$ . Здесь матрица  $C$  составлена по столбцам из ортогонализованных собственных векторов ковариационной матрицы  $K_J$  (условная ковариационная матрица вектора  $J$ ), которая определяется выражением

$$K_J = [K_{k,n/q}] = \left[ M \left( (J_k^q - M_{k/q}) (J_n^q - M_{n/q})^T \right) \right].$$

Важно, что матрица  $\Lambda = CK_J C^T$  является диагональной, причем на диагонали расположены собственные числа  $\lambda_{k/q}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, l-1$  матрицы  $K_J$ .

Тогда вероятность  $P_{kq}$  определяется выражением [14, 15]

$$\begin{aligned} P_{kq} &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\lambda_{k/q}}} \int_{-\infty}^{\infty} \prod_{\substack{s=0 \\ s \neq k}}^{l-1} \Phi \left( \frac{I_k - \tilde{M}_{s/q}}{\sqrt{\lambda_{s/q}}} \right) e^{-\frac{(I_k - \tilde{M}_{k/q})^2}{2\lambda_{k/q}}} dI_k = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} \prod_{\substack{s=0 \\ s \neq k}}^{l-1} \Phi \left( \frac{y\sqrt{\lambda_{s/q}} + \tilde{M}_{s/q} - \tilde{M}_{k/q}}{\sqrt{\lambda_{s/q}}} \right) dy, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\tilde{M}_{k/q} = [C(M_q - M_k)]^T [CRC^T]^{-1} [C(M_q - M_k)]$ ;  $\tilde{M}_{s/q} = [C(M_q - M_s)]^T [CRC^T]^{-1} [C(M_q - M_s)]$ ;



$$y = \frac{I_k - \tilde{M}_{k/q}}{\lambda_{k/q}}; \Phi(\cdot) \text{ определяется выражением } \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$$

Таким образом, выражения (2), (3), (5) можно использовать для оценки значимости параметров контроля комплекса ОЭС ПВИ, а также расчета априорной средней вероятности ошибки для любого количества гипотез (рис. 5, 6).

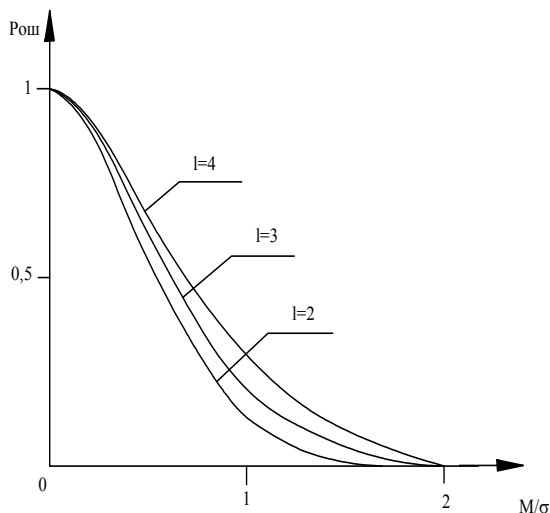


Рис. 5. Зависимость вероятности ошибочного распознавания от числа проверяемых гипотез.

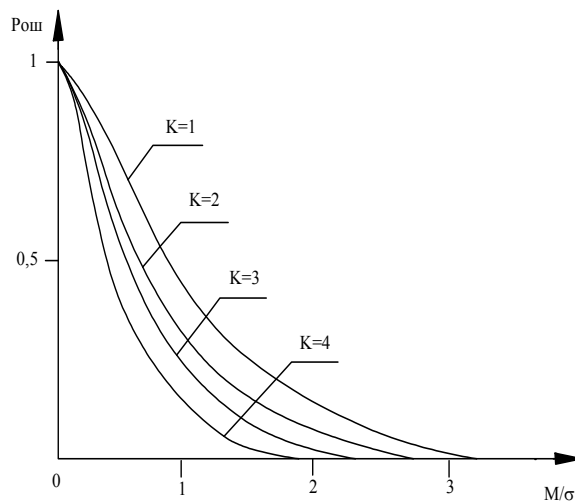


Рис. 6. Зависимость вероятности ошибочного распознавания от числа признаков.

По оси абсцисс на графиках отложена величина  $M/\sigma = \sum_{q=0}^{l-1} \sum_{\substack{s=0 \\ s \neq k}}^{l-1} \left( \frac{|\tilde{M}_{s/q} - \tilde{M}_{k/q}|}{\sqrt{\lambda_{s/q}}} \right)$ ,

которая характеризует информативность признаков.

Анализ кривых, приведенных на рис. 5, показывает, что с увеличением числа проверяемых гипотез вероятность ошибочного распознавания увеличивается (имеется возможность оценить динамику изменения вероятности ошибочного распознавания). Зависимости на рис. 6 демонстрируют целесообразность использования нескольких признаков (параметров контроля) технического состояния.



Рис. 7. Внешний вид цифрового ОЭК ПВИ OSDCAM4060.

### Экспериментальная проверка предлагаемого метода

Экспериментальная проверка работоспособности разработанного метода проводилась на реальном цифровом ОЭК OSDCAM4060 – «Цифровик» (рис. 7) в различных условиях применения.

Для трех задач дистанционного зондирования земной поверхности рассматривались семь условий применения исследуемой камеры, которые приведены в табл. 2.

№	Условия
1	Простые метеорологические условия, оптимально выбранные параметры съемки, мира №1
2	Простые метеорологические условия, оптимально выбранные параметры съемки, мира №2
3	Простые метеорологические условия, неоптимально выбранные параметры съемки (длинная выдержка), мира №1
4	Простые метеорологические условия, оптимально выбранные параметры съемки, сбой юстировки в системе ближнего ИК-диапазона (12К49ИК), мира №2
5	Простые метеорологические условия, оптимально выбранные параметры съемки, искусственная умеренная расфокусировка (5 пикселей) всех систем, мира №2
6	Простые метеорологические условия, оптимально выбранные параметры съемки, искусственная сильная расфокусировка (10 пикселей) всех систем, мира №2
7	Простые метеорологические условия, оптимально выбранные параметры съемки, наложение некоррелированного шума на изображения, мира №2

Результаты проверки представлены на рис. 8. При оценке технического состояния с использованием разработанного метода использовались два режима – с адаптивной оценкой технического состояния и без нее. При этом режим адаптивной оценки продемонстрировал высокую адекватность получаемых результатов, в том числе при изменении условий применения комплекса.

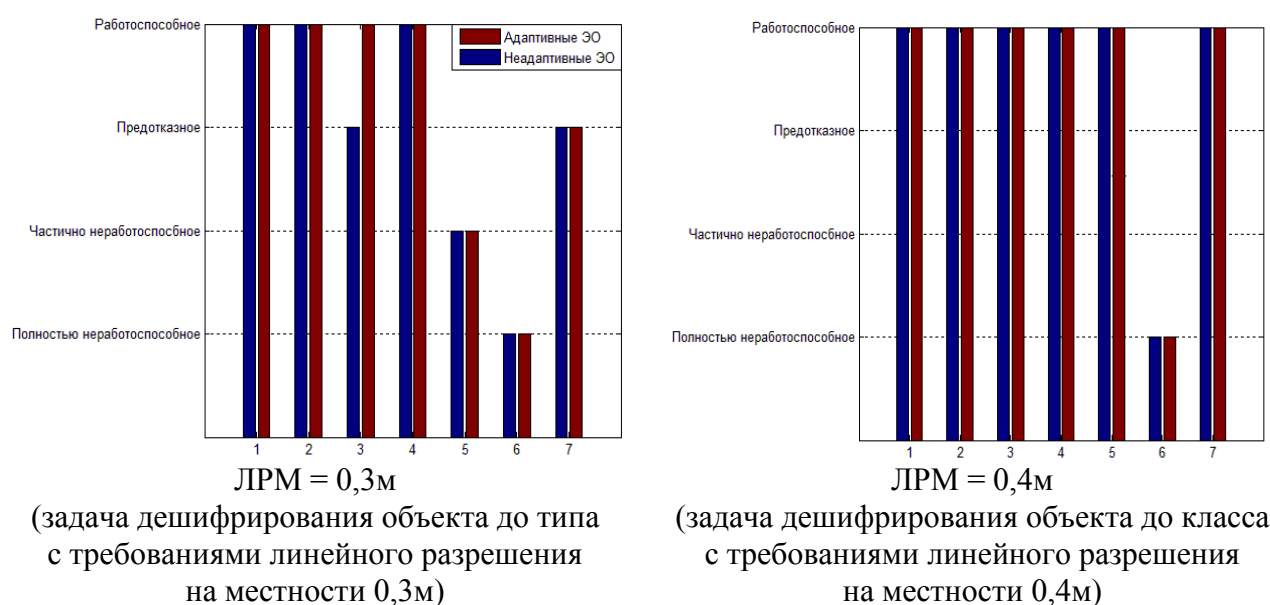


Рис. 8. Результаты экспериментальной проверки разработанного методического аппарата на цифровом ОЭК ПВИ «Цифровик».

Анализ результатов экспериментальной проверки подтверждает работоспособность предложенного метода. Его адекватность доказывается высокой чувствительностью к изменению условий применения и задач дистанционного зондирования земной поверхности.

### Заключение

В работе рассмотрены современные способы оценки технического состояния ОЭС ПВИ. Для оценки технического состояния ОЭС и ОЭК ПВИ предложено

но использовать статистическую теорию распознавания образов.

Оценку эталонных признаков для каждого вида технического состояния предлагается осуществлять посредством применения математических моделей ОЭС, полученного по результатам эксплуатации контролируемых систем статистического материала, а также с использованием методического аппарата экспертных систем. Коррекцию полученных эталонных признаков под условия применения можно выполнять на основе физико-аналитических исследований.

Предложена методика оценки эффективности системы распознавания технического состояния ОЭС ПВИ. Получена формула средней вероятности ошибки в статистических системах распознавания по критерию максимума апостериорной вероятности. Показано, что на основе аналитического выражения средней вероятности ошибки имеется возможность оценить качество признаков и решающего правила для любого количества гипотез и признаков.

Проведенная экспериментальная проверка работоспособности предложенного метода по реальным изображениям, полученным цифровым ОЭЖ ПВИ OSDCAM4060 – «Цифровик», показала высокую достоверность полученных оценок технического состояния рассматриваемого комплекса посредством их сравнения с априорными данными. При этом показано, что адаптивный режим предлагаемого метода эффективно учитывает условия применения ОЭЖ при оценке его технического состояния.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Буков В.Н., Базанов А.П., Колодежный Л.П. и др. Теоретические основы и средства автоматизированного контроля. Учебное пособие – М.: ВВИА имени проф. Н. Е. Жуковского, 1997.
2. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. – М.: Радио и связь, 1986.
3. Фомин Я.А., Безродный Б.Ф. Адаптивные системы контроля изделий микроэлектроники на ПЭВМ. – М.: Издательство стандартов, 1993.
4. Гуковский Я.Е. О статистическом подходе к обнаружению событий в автоматическом контроле // Автоматика и телемеханика. – 1964. – № 10. – С.1851-1855.
5. Кнеллер В.И. Об определении и специфике автоматического контроля // Автоматика и телемеханика. – 1962. – № 4. – С.923-929.
6. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М., 1990.
7. Веселов Ю.Г., Тихоньчев В.В., Халтобин В.М. Исследование характеристик цифровых фотоаппаратов // Техника кино и телевидения. – 2003. – №6. – С.39-41.
8. Белоглазов И.Н. Алгоритм комплексного автоматического дешифрирования и оценка его эффективности // Применение ЭВМ для автоматизации процессов сбора и обработки информации / под ред. И.Н. Белоглазова. – М.: ВВИА имени проф. Н.Е. Жуковского, 1984. С. 29-39.
9. Белоглазов И.Н., Казарин С.Н. Совместное оптимальное оценивание, идентификация и проверка гипотез в дискретных динамических системах // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 1998. – №4. – С.26-43.
10. Веселов Ю.Г., Тихоньчев В.В., Труфанов И.В., Халтобин В.М. Оценка технического состояния цифровых аэрофотоаппаратов на основе теории распознавания образов // Сборник научно-методических материалов «Авиационное оборудование», под ред. В.С. Кулабухова. – М.: ВВИА имени проф. Н.Е. Жуковского. 2004.

11. *Веселов Ю.Г., Тихонычев В.В., Халтобин В.М.* Оценка технического состояния иконических оптико-электронных средств на основе теории распознавания образов. – М.: ВВИА имени проф. Н.Е. Жуковского, 2007.
12. *Веселов Ю.Г.* Модель оценки информационных характеристик оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли // Исследование Земли из космоса. – 2011. – №5. – С. 3-10.
13. 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). – С.98-114.
14. *Фукунага К.* Введение в статистическую теорию распознавания образов / под редакцией А.А. Дорофеюка. – М.: Наука, 1979.
15. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. – М.: Наука, 1984.

*E-mail:*

*Захарченко Александр Николаевич – vesel\_foto@mail.ru;*

*Веселов Юрий Геннадьевич – vesel\_foto@mail.ru;*

*Островский Александр Сергеевич – aleksandr\_ostrovsky@mail.ru;*

*Сельвесюк Николай Иванович – selvesyuk@yandex.ru.*

## XI Международная Азиатская школа-семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", посвященная памяти основателя школы, д.ф.-м.н., профессора Владимира Константиновича Попкова

<http://conf.nsc.ru/opcs2015>

Кыргызская Республика, Иссык-Кульская область,  
Чолпон-Ата, отель "Три Короны", 27 июля – 7 августа 2015 г.

Организаторы:

Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК  
(Республика Казахстан, Алматы);  
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН  
(Россия, Новосибирск);  
Новосибирский государственный технический университет  
(Россия, Новосибирск);  
Институт энергетики и автоматики АН РУз  
(Республика Узбекистан, Ташкент);  
Институт теоретической и прикладной математики НАН КР  
(Кыргызская Республика, Бишкек);  
Институт автоматики и информационных технологий НАН КР  
(Кыргызская Республика, Бишкек);  
Институт новых информационных технологий КГУСТА  
(Кыргызская Республика, Бишкек)

Контактная информация:

*Сахариев Болат Бейсембаевич*  
ул. Пушкина, 125, Алматы, 050010,  
Республика Казахстан  
Тел.: +7 (727) 2723313  
Факс: +7 (727) 2723711  
E-mail: bbs@ipic.kz

*Токтошов Гулжигит Ысакович*  
ул. проспект Академика Лаврентьева, 6,  
Новосибирск, 630090, Россия  
Тел.: +7 (383) 3309643  
Факс: +7(383) 3356321  
E-mail: tgi\_tok@rambler.ru

Электронный почтовый ящик оргкомитета: [ssopcs@gmail.com](mailto:ssopcs@gmail.com).