

УДК 621.338

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
СТАНДАРТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ
СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

А.Ю. Цуников, к.т.н., с.н.с.

*Московский технологический университет, Москва, 119454 Россия
Автор для переписки, e-mail: bmw325ix@mail.ru*

В статье проведён анализ критических параметров качества программно-аппаратного обеспечения оптико-электронных систем (ОЭС) на соответствие эргономическим требованиям по работе с компьютерными системами: ISO 9241 – Эргономика человеко-машинного взаимодействия; ISO 10075 – Эргономические принципы, относящиеся к умственной нагрузке при работе с интерактивными системами; ISO 14915 – Эргономика программного обеспечения мультимедийных пользовательских интерфейсов. По результатам современного состояния проблемы автоматизации обработки данных зашумленных и искаженных ИК-изображений установлено, что процедура обработки изображения является непереносимой составляющей общей процедуры обработки сигнала в цепочке преобразований информации от ее регистрации фотоприемным устройством до предъявления оператору. Поэтому неунифицированность количественного критерия качества обработки изображений при решении практических задач современного оптико-электронного приборостроения делает особенно актуальной разработку алгоритмов обработки тепловизионных изображений с учетом эргономических требований, предъявляемых к компьютерным системам. Даны практические рекомендации, обеспечивающие повышение достоверности интерпретации информации оператором, а, следовательно, и повышение надежности прогноза развития ситуации и эффективности информационной системы аппаратно-программного комплекса (АПК) в целом.

Ключевые слова: эргономика человеко-машинного взаимодействия, мультимедийный пользовательский интерфейс, эффективность информационной системы, надежность прогноза развития ситуации, достоверность информации, достоверность интерпретации информации, пригодность результата обработки для восприятия и понимания.

**PRACTICE GUIDELINES FOR THE USE OF STANDARDS FOR
DESIGN OF INTERACTIVE SYSTEMS IN THERMAL IMAGING
PROCESSING TASKS**

A.Y. Tsunikov

*Moscow Technological University (MIREA), Moscow, 119454 Russia
@Corresponding author e-mail: bmw325ix@mail.ru*

The article analyzes the critical quality parameters firmware optoelectronic systems (IPS) to meet the ergonomic requirements for work with computer systems: ISO 9241 - Ergonomics of human-machine interaction; ISO 10075 - Ergonomic principles related to mental workload when dealing with interactive systems; ISO 14915 - Ergonomics software multimedia user interfaces.

According to the results of theoretical analysis of the current state of the problem of data processing automation of noisy and distorted IR images revealed that the image processing procedure is an indispensable component of the total signal processing procedure in the chain of data transformations from its registration photodetectors to the presentation to the operator, so the lack of standardized quantitative criterion imaging quality to solve practical problems of modern optoelectronic instrument makes it especially urgent to develop treatment algorithms thermal images with ergonomic requirements for computer systems.

Practical recommendations are done to improve the reliability of the interpretation of the information provider, and thus improve the reliability of the situation prediction efficiency and APC information system as a whole.

Keywords: ergonomics of human-computer interaction, multimedia user interface, information system efficiency, reliability prognosis of the situation, the accuracy of the information, the accuracy of the interpretation of the information, availability of treatment result for perception, understanding.

Актуальность проблемы исследования определяется востребованностью проектирования аппаратно-программных комплексов (АПК), разработки специальных алгоритмов обработки и предъявления оператору информации от нескольких спектральных каналов оптико-электронных систем (ОЭС) с автоматической адаптацией критериев выбора и приоритетности отличительных признаков целей и помех в каждом из спектральных каналов при изменяющихся условиях наблюдения.

В рамках исследования ранее был выполнен анализ современного состояния проблемы автоматизации обработки зашумленных и искаженных ИК-изображений и проблем прогнозного моделирования поведения объектов в зашумленных средах с учетом характеристик флуктуаций фонового излучения в алгоритмах обработки сигналов инфракрасных приборов (Можейко В.И., Обухова Н.А., Тимофеев Б.С., Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Белоусов Ю.И., Иванов Д.В. и др.); изучена проблема визуализации локальных областей неоднородных поверхностей (Шмидт В.К., Галикеев Г.Б., Горбачевич Ф.Ф., Кудрявцев А.С. и др.). Проанализированные данные были осмыслены и подтверждены результатами практических разработок по методам анализа различных видов электромагнитного излучения: видеоинформации в комплексе трех спектральных инфракрасных диапазонах по контролю технологических процессов [1], обработки цифровых сигналов при тепловизионном контроле изготовления деталей и узлов аппаратуры [2], моделирования плотности излучения и теплового баланса при инженерном мониторинге [3], определения ориентации космических аппаратов при использовании оптических звездных датчиков [4].

Установлено, что процедура обработки изображения является непременной составляющей общей процедуры обработки сигнала в цепочке преобразований информации от ее регистрации фотоприемным устройством до предъявления оператору. Отсюда следует заключить, что неунифицированность количественного критерия качества обработки изображений при решении практических задач современного оптико-электронного приборостроения делает особенно актуальной разработку алгоритмов обработки тепловизи-

онных изображений с учетом эргономических требований, предъявляемых к компьютерным системам.

При разработке такого рода новых программных средств специальной обработки данных зашумленных и искаженных ИК-изображений нами разработана архитектура программных средств для АПК, обоснованы этапы проектирования и реализован АПК на статистически учитываемом количестве испытаний. Применение эргономических требований определило выбор методов математической обработки и алгоритмизации обработки зашумленных и искаженных тепловизионных изображений [5], характер адаптации метода Канни для выделения границ объектов, дополнительно разработан и реализован авторский алгоритм сегментации и визуализации ИК-изображений (вычисление контрастности объекта относительно фона, выделение температурных зон по заданным температурным интервалам, либо кластерному распределению, расчет их относительных площадей) [6].

Таким образом, на программно-аппаратное обеспечение оптико-электронных систем (ОЭС) распространяется группа стандартов, определяющих эргономические требования по работе с компьютерными системами. Следует принять во внимание следующие стандарты [7]:

- ISO 9241 – Эргономика человеко-машинного взаимодействия;
- ISO 10075 – Эргономические принципы, относящиеся к умственной нагрузке при работе с интерактивными системами;
- ISO 14915 – Эргономика программного обеспечения мультимедийных пользовательских интерфейсов.

По результатам проведенного анализа рекомендуется на практике учитывать все три направления нормирования: по способам человеко-машинного взаимодействия; по параметрам дисплеев и связанного оборудования [8]; по техническим характеристикам устройств ввода и их эргономическим свойствам. Это позволит задать квалитетическую базу анализа соответствия получаемого изображения требуемому качеству приведенных выше стандартов.

На практике целесообразно использовать следующие качественные показатели при проектировании аппаратно-программных комплексов.

Эффективность аппаратно-программного комплекса будет соответствовать требуемому условию, если оператор на основании полученного изображения сможет провести его интерпретацию и сделать выводы о целях и приоритетах поставленных задач за определенный промежуток времени. При этом качество визуализации исследуемого изображения должно соответствовать приемлемому уровню умственной нагрузки. Недостаточная информативность изображения либо излишняя его зашумленность привносит дополнительную нагрузку для оператора при принятии им решения. Неоднозначность информации потребует дополнительной интерпретации полученного изображения [9].

Надежность прогноза развития ситуации будет определяться на основе отделения сигналов, несущих информацию, от помех и шумов, т.е. потребует возможности инструмента фильтрации изображения с целью изменения интенсивности сигналов, применения методов различного кодирования с использованием характеристик формы, цвета, снижения интенсивности фоновых шумов.

Отображение дополнительной резервной информации, как, например, в задачах обработки видеоинформации в комплексе трех спектральных инфракрасных диапазонах по контролю технологических процессов проводился анализ видеоинформации в комплексе трех спектральных инфракрасных диапазонов по контролю технологических процессов.

В этом случае рекомендуется использовать дополнительную информацию в виде количественных (тепловизионных, радиометрических, фотометрических и др.) данных [9].

Таким образом, при обработке зашумленных изображений помимо количественных аспектов интенсивности умственной нагрузки оператора, следует учитывать качественные различия в уровнях умственной нагрузки оператора, связанные с восприятием, интенсивной нагрузкой на память и пр. Следует учитывать, что уменьшение умственной нагрузки ниже оптимального уровня может привести к появлению монотонии, чему препятствует расширение поля решения задачи и изменения задач (введение ручного режима коррективки) параметров обработки изображений АПК.

Достоверность полученной информации определяется как способность к выделению нужных объектов в присутствии сложных фоновых и организационных помех, что может быть реализовано при обеспечении точности обработки изображений, включая и параллельную и последовательную формы, а также наличием системы помощи принятия решений оператором. На уровне интерфейса это соответствует реализации требования пригодности интерфейса для выполнения задания, информативность, управляемость, соответствие ожиданиям пользователя, устойчивость к ошибкам, пригодность к индивидуализации [9].

Достоверность интерпретации информации определяется как вероятность принятия правильного решения на данном иерархическом уровне принятия решений. С точки зрения организации интерфейса АПК – обеспечение прозрачной навигации (поиска), структурирования информации на основе учета различий в возможностях восприятия; обеспечения альтернативных поисковых целей при использовании системы ручной обработки снимков, реализованной программно-аппаратным способом (ментальные модели взаимодействия оператора и системы для обеспечения правильности управляющих действий) [9].

Таким образом, с позиции организации интерфейса взаимодействия оператора и системы достоверность интерпретации информации обеспечивается на основе прозрачной навигации, способом структурирования аналитической информации с учетом различий в возможностях восприятия конкретным оператором и обеспечения альтернативных поисковых целей.

Пригодность для восприятия, понимания полученного визуализированного изображения определяется особенностями применяемых математических методов, алгоритмов обработки зашумленных изображений и различимостью, понятностью, согласованностью цветовых шкал мультимедийного интерфейса на основе характеристики пригодности тепловизионного изображения: выбора исходного описания объектов (пространства признаков) и объединение форм представления результирующей информации средствами мультимедийного интерфейса [9]. С этой целью описанным выше качественным показателям поставлены в соответствие и доопределены характеристики и рекомендации, соответствующих ГОСТ Р ИСО (табл. 1), что позволяет установить однозначное соответствие качества ИК-изображения при анализе его на соответствие нормам восприятия оператора.

Выявлено, что производители тепловизионных комплексов формируют шкалы в соответствии с техническим стандартом, однако не учитывают требования к четкому порядку цветов, воспринимаемых оператором, что, соответственно, порождает различия, вследствие визуальной адаптации, аддитивного смещения, индивидуального ахроматического цветового ощущения. Указанные различия снимаются, и оператор лучше воспринимает различия яркостей в монохроматическом спектре, если выбраны шкалы в оттенках серого, как наиболее оптимальные [10].

Выбор шкал цветности [11] АПК в исследовании производился с учетом требований использования видео-дисплейных терминалов по ГОСТ Р ИСО 9241-8-2007. В табл. 2 приведены эргономические требования к параметрам качества обработки термографических изображений, которые по совокупности дают полную картину факторов, определяющих собственно процесс восприятия оператором изображения.

Таблица 1. Критические показатели качества АПК и их соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО

Критические параметры	Содержание параметра качества	Маркировка ГОСТ Р ИСО	Характеристики и рекомендации
Эффективность информационной системы	Своевременность прогноза. Управление и взаимодействие с формами представления информации (мультимедийный интерфейс)	100075-2-2009	Интенсивность умственной нагрузки (п. 4.2.1., 4.2.2.) Адекватность и неоднозначность информации (п.4.2.2.4, 4.2.2.5)
		14915-1-2010	Проектирование взаимодействий (п.6.3.2, 6.3.3)
Надежность прогноза развития ситуации	Содержательная непротиворечивость информации, которая достоверна и не нуждается в перепроверке или уточнениях Пригодность для целей коммуникации (мультимедийный интерфейс)	100075-2-2009	Распознаваемость сигналов и дополнительная информация (п. 4.2.2.6, 4.2.2.7.) Совместимость отображения, управляющих действий и ответов системы (п.4.2.2.8)
		14915-1-2010	Поддержка ориентации пользователя (п. 5.2.6.3) Обеспечение средствами поиска и навигации (п.5.2.6.8)
Достоверность информации	Способность выделять нужные объекты в присутствии сложных фоновых и организационных помех Пригодность интерфейса для выполнения задания, информативность, управляемость, соответствие ожиданиям пользователя, устойчивость к ошибкам, пригодность к индивидуализации	100075-2-2009	Точность обработки, параллельная и последовательная обработка (п. 4.2.2.9, 4.2.2.10) Поддержка решений оператора и устойчивость системы к ошибкам (п. 4.2.2.18, 4.2.2.23)
		14915-1-2010	Принципы организации диалога (п.5.2.2.)
Достоверность интерпретации информации	Вероятность принятия правильного решения на данном иерархическом уровне принятия решений	100075-2-2009	Ментальные модели взаимодействия оператора и системы для обеспечения правильности управляющих действий (п.4.2.2.13)
	Поддержка прозрачной навигации, структурирование информации (мультимедийный интерфейс)	14915-1-2010	Учет различий в возможностях восприятия, обеспечение альтернативных навигационных (поисковых) целей (п.5.2.5.5, 5.2.6.4, 5.2.6.6)
Пригодность для восприятия, понимания	Обнаруживаемость, различимость, понятность, согласованность и проч. (мультимедийный интерфейс)	14915-1-2010	Характеристики пригодности (п. 5.2.5.1; ИСО 9241-12) Отбор и объединение форм представления информации (п. 5.2.5.6; ИСО 14915-3)

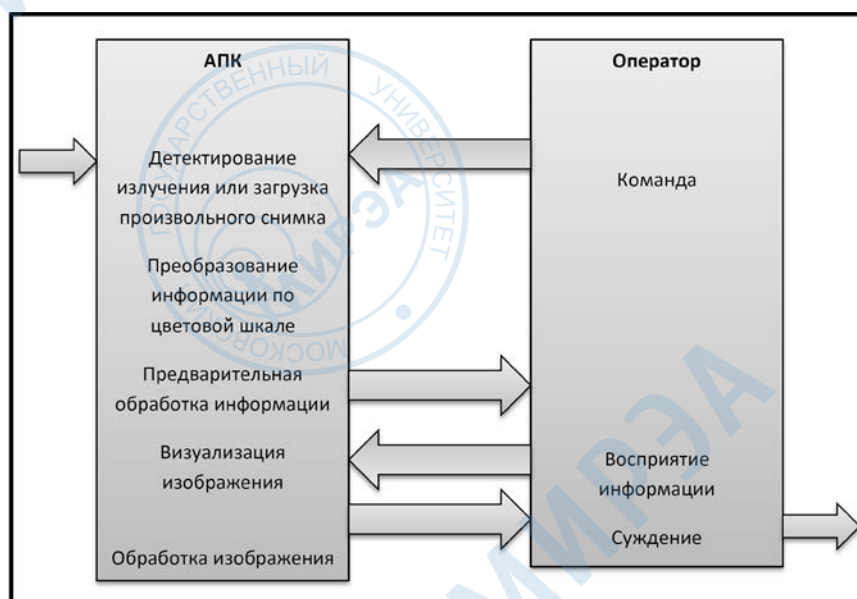
Эргономические требования учитывают особенности механизма восприятия цветов глазом человека, а именно с тем, что при градуировке шкалы в условных цветах данная информация не является достаточной для оценки различия отображаемой пикселем температуры с его окружением. В ситуации же недостаточной информативности требуется дополнительная интерпретации полученного изображения – оператор вынужден про-

Таблица 2. Эргономические требования к параметрам качества обработки термографических изображений

Проектное расстояние наблюдения (п. 3.25)	Расстояние или диапазон расстояний, нормируемое производителем, между экраном и глазами оператора, при которых изображение на дисплее удовлетворяет требованиям к модуляции раstra, пространственной нестабильности, временной нестабильности, разборчивости, линейности, однородности раstra.
Адаптация (визуальная) (п. 3.2)	Процесс изменения органа зрения под воздействием световых стимулов, экспозиция которых осуществляется в данное время или несколько раньше, и которые имеют различную яркость, спектральный состав и угловые размеры.
Аддитивное смещение (п. 3.3)	Метод смешения цветовых стимулов на сетчатке глаза, когда воздействие различных цветовых стимулов не может восприниматься глазом раздельно.
Ахроматическое цветовое ощущение (п. 3.1)	Воспринимаемое ощущение – восприятие цвета, исключаящее цветовой тон. Обычно используются такие названия цветов, как «белый», «серый» и «черный» или, в случае объектов, пропускающих свет, бесцветный и нейтральный. Психофизическое ощущение – стимул, вызывающий ощущение воспринимаемого ахроматического цвета.
Колориметрическая чистота цвета (п. 3.32)	Величина, определяемая отношением $p_c = \frac{L_d}{(L_n + L_d)},$ где L_d и L_n – яркости монохроматического стимула и заданного ахроматического стимула соответственно, которые при аддитивном смешении дают цвет рассматриваемого цветового стимула.
Линия спектральных цветностей (п.3.37)	Геометрическое место точек на графике цветностей, определяющее монохроматические стимулы.
Минимально заметное различие (п. 3.28)	Перцепционный элемент, точно определяющий минимальное физическое изменение в изображении.
Равноконтрастный цветовой график (п. 3.42)	Двумерный график, координатная система которого выбрана так, чтобы равным расстояниям соответствовало равное число порогов цветоразличения для цветовых стимулов одинаковой яркости по всему графику.
Различение цветов (п. 3.15)	Обнаружение разности цветов между стимулами.

водить дополнительные сравнения пикселя с эталонной шкалой (проводить процедуру фильтрации изображения с целью уточнения характера интенсивности сигналов), что повышает умственную нагрузку и снижает достоверность и своевременность принимаемого решения. Выводы, полученные на основе анализа требований данных стандартов, подтвердили актуальность разработанного в исследовании алгоритма перевода производного снимка в полутоновую шкалу, который также позволяет снизить умственную нагрузку оператора за счет получения оптимальной колориметрической чистоты цвета серой шкалы, четких границ спектральной цветности, равноконтрастности изображения и различимости оттенков. Предложенная методика и алгоритм обработки зашумленных и искаженных тепловизионных изображений усовершенствует типовую технологию процесса взаимодействия АПК и оператора.

Диаграмма проектирования АПК в соответствии с ГОСТ Р ИСО 10075-2-2009 [12, с. 4] принимает вид (рисунок):



Алгоритм взаимодействия оператора и АПК специальной обработки зашумленных термографических изображений.

Таким образом, для оптимизации обработки тепловизионных изображений рекомендуется на практике учитывать все три направления нормирования: по способам человеко-машинного взаимодействия; по параметрам дисплеев и связанного оборудования; по техническим характеристикам устройств ввода и их эргономическим свойствам. Это позволит нивелировать различия в организации производственных шкал цветности, которые возникают вследствие различной визуальной адаптации, аддитивного смещения, индивидуального ахроматического цветового ощущения.

Выбор шкалы в оттенках серого (в монохроматическом спектре) обусловлен качеством получаемых изображений с точки зрения визуальной четкости границ спектральной цветности, равноконтрастности изображения и различимости оттенков, что позволяет снизить умственную нагрузку оператора за счет получения оптимальной колориметрической чистоты цвета серой шкалы, четких границ спектральной цветности, равноконтрастности изображения и различимости оттенков.

Предложенная методика позволяет повысить достоверность интерпретации информации оператором, делает изображение пригодным для восприятия и понимания, что, в свою очередь, повышает надежность прогноза развития ситуации и эффективность информационной системы АПК в целом.

Литература:

1. Грязных И.В., Лысов П.И., Панков А.В., Шпак А.В., Зубков А.П., Цуников А.Ю. Анализ видеoinформации в инфракрасном диапазоне по контролю технологических процессов // INTERMATIC-2012 – Материалы Междунар. научно-техн. конф. «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения», 3–7 декабря 2012. Москва, МИРЭА / Часть 6 «Информационные технологии и телекоммуникации». М.: Энергоатомиздат, 2012. С. 184–187.
2. Филатов С.В., Цуников А.Ю. Моделирование плотности излучения и теплового баланса при инженерном мониторинге изготовления узлов и деталей аппаратуры / Транспортное дело России. 2014. № 3. С. 69–72.

3. Филатов С.В., Цуников А.Ю. Тепловизионный контроль изготовления деталей и узлов аппаратуры / Транспортное дело России. 2014. № 4. С. 112–114.
4. Сигов А.С., Нефедов В.И., Цуников А.Ю. [и др.] Повышение точности определения ориентации космических аппаратов при использовании оптических звездных датчиков / Материалы Междунар. научно-техн. конф. «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения», 3–7 декабря 2012. Москва, МИРЭА / Часть 4 «Приборы и компоненты РЭА». М.: Энергоатомиздат, 2012. С. 62–66.
5. Денисевич В.Н., Цуников А.Ю., Шепелева А.Н. [и др.] Сжатие полутоновых изображений на основе вейвлетов / Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2010. № 1-1. С. 190–191.
6. Цуников А.Ю. Методы, алгоритмы и программные средства для аппаратно-программных комплексов специальной обработки данных зашумленных и искаженных ИК-изображений : дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 172 с.
7. Базовые эргономические требования и рекомендации URL: <http://www.professionalgroup.ru/resheniya/ispolzuemyie-texnologii/obshhie-ergonomicheskie-trebovaniya.html>
8. Терминология ГОСТ Р ИСО 9241-3-2003: Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видео-дисплейных терминалов (ВДТ). Часть 3. Требования к визуальному отображению информации (оригинал документа)
9. Цуников А.Ю. Методы, алгоритмы и программные средства для аппаратно-программных комплексов специальной обработки данных зашумленных и искаженных ИК-изображений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 24 с.
10. Нефедов В.И., Егорова Е.В., Цуников А.Ю. [и др.] Особенности обработки тепловизионных изображений / Электромагнитные волны и электронные системы. 2015. № 4. URL: <http://www.radiotec.ru/catalog.php?cat=jr5&art=16513>
11. Терминология ГОСТ Р ИСО 9241-8-2007: Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видео-дисплейных терминалов (ВДТ). Часть 8. Требования к отображаемым цветам. (оригинал документа)
12. ГОСТ Р ИСО 10075-2-2009. Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 2. Принципы проектирования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200075944>.