Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-
производственное объединение «Государственный институт

прикладной оптики»

На правах рукописи

Овсянников Владимир Александрович

**Системная оценка и оптимизация несканирующих**

**тепловизионных приборов**

Специальность 05.11.13 -

«Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и

изделий»

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

доктор физико-математических наук, профессор Филиппов В.Л.

**WvslcTh.**

ЬСазань,- 2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предислови е 1 4

[Введение 6](#bookmark4)

1. Прогнозирование тепловых контрастов объектов местности .... 21
	1. Влияние условий наблюдения объектов на их тепловой

контраст 21

* 1. [Методы оценки температурных контрастов объектов 31](#bookmark15)
1. Фотоприемные устройства несканирующих тепловизионных

[приборов 47](#bookmark274)

* 1. Сравнительный анализ фотоприемных устройств и тенденции

[их развития 47](#bookmark25)

* 1. Основные параметры и характеристики матричных

фотоприемников 61

* + 1. [Фотонные МФП 61](#bookmark33)
		2. [Тепловые МФП 73](#bookmark42)
1. Параметры и эффективность несканирующих тепловизионных

приборов 77

* 1. Критерии качества тепловизионных приборов 77
	2. [Общая система описания тепловизионных приборов 80](#bookmark46)
	3. Основные технические параметры и характеристики

тепловизионных приборов 103

* + 1. Разность температур, эквивалентная шуму, и эффективное значение элементарного поля зрения ТВП 103
		2. [Температурно-частотная характеристика ТВП 131](#bookmark94)
		3. Предельно достижимые значения основных

технических параметров ТВП 144

* 1. [Тепловизионное изображение и его анализ 146](#bookmark107)
	2. Эффективность тепловизионных приборов в статическом

режиме работы 159

* + 1. [Обнаружение объектов 159](#bookmark110)
		2. [Распознавание объектов 166](#bookmark119)
	1. Эффективность тепловизионных приборов в динамическом

[режиме работы 204](#bookmark156)

* + 1. [Эффективность ТВП воздушного базирования 204](#bookmark157)
		2. [Эффективность ТВП наземного базирования 226](#bookmark171)
	1. Влияние атмосферы на эффективность тепловизионных

приборов 230

* + 1. [Коэффициенты пропускания атмосферы 230](#bookmark176)
		2. [Функции передачи модуляции атмосферы 236](#bookmark185)

з

* 1. Эффективность тепловизионных приборов при использовании

поляризационного контраста объектов 241

1. Комплексирование спектральных каналов

оптико-электронных систем 253

* 1. Сравнительный анализ эффективности гиперспектральных и

многоспектральных оптико-электронных систем 253

* 1. Методы совместной обработки разноспектральных

изображений 266

* 1. Выбор и сравнительная оценка спектральных рабочих

диапазонов 278

1. Основы оптимального синтеза несканирующих тепловизионных

приборов 290

* 1. Оптимизация основных технических и конструктивных

параметров тепловизионных приборов 290

* 1. Оптимизация параметров движения носителей

тепловизионных приборов 311

1. Принципы и общие методы аттестации несканирующих

тепловизионных приборов 317

* 1. Измерение и контроль дальности действия тепловизионных

[приборов 317](#bookmark243)

* 1. Измерение и контроль углового разрешения и разрешения на

[местности тепловизионных приборов 331](#bookmark268)

* 1. Измерение и контроль основных технических параметров

тепловизионных приборов 343

[Заключение 363](#bookmark278)

Библиографический список 366

Приложение 386

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Успехи микроэлектроники и полупроводниковой технологии стимулировали на рубеже столетий появление на мировом рынке коммерчески доступных вначале фотонных охлаждаемых, а затем и тепловых неохлаждаемых матричных фотоприемников (МФП), использование которых позволило современному тепловидению сделать качественный скачок в решении все расширяющегося круга военных и гражданских задач. Построенные на основе МФП несканирующие, или «смотрящие», ТВП последнего, третьего, поколения различного класса и назначения, обладают весьма высокими потребительскими качествами и новыми возможностями и, вследствие этого, используются в самых разных сферах человеческой деятельности. Однако они имеют целый ряд специфических свойств, отсутствующих у обычных, сканирующих, ТВП, что предопределило необходимость разработки соответствующих методов их анализа, синтеза и аттестации и, тем самым, обусловило актуальность данной работы.

Теоретическое осмысление, систематизация, обобщение и развитие существующих и разработка новых таких методов были реализованы (в рамках существующей сегодня парадигмы) при анализе в диссертации всех сформулированных ранее задач. В ходе решения этих задач автором получены' следующие важнейшие, отличающиеся новизной, и имеющие большое практическое значение результаты.

1. Развиты инженерные методы прогнозирования входных сигналов ТВП - разностей радиационных температур объектов и фона в спектральных рабочих диапазонах прибора в зависимости от условий наблюдения объектов и их локализации - и обобщенная модель расчета температурного контраста плоских стенок типовых объектов при гармоническом изменении эффективной температуры внешней среды.
2. Предложена методика приведения различных показателей пороговой чувствительности МФП с условий паспортизации к реальным условиям их использования в конкретном ТВП (в том числе для режима ограничения фоном), дающая возможность сопоставления и обоснованного выбора того или иного образца МФП в каждом данном случае.
3. Впервые сформирована взаимоувязанная, замкнутая и внутренне непротиворечивая иерархическая система описания современных ТВП, позволяющая проводить анализ и оптимизацию ТВП на различных уровнях - от показателей эффективности в статическом или динамическом режиме функционирования до показателей полезности, определяемых экономическим эффектом, возникающим от применения разработанного прибора. Определен

состав основных технических параметров несканирующих ТВП, необходимый и достаточный (со стороны ТВП) для оценки их эффективности, и найдены потенциально достижимые значения этих параметров.

Значительно усовершенствована характеристическая модель несканирующих ТВП, обеспечивающая расчет основных технических параметров и характеристик прибора, и операциональная модель этих ТВП для статического режима работы, определяющая их основные показатели эффективности, в частности дальность действия, и дополнительно учитывающая, в отличие от известных, целый ряд существенных факторов, что позволяет снизить до 3 раз погрешность расчетной оценки дальности действия ТВП и существенно расширить диапазон условий применения полученных моделей.

Разработана комплексная операциональная модель ТВП для динамического режима работы - для расчета таких показателей эффективности, как интенсивность поиска, вероятность и среднее число объектов, вскрытых к заданному сроку, среднее время вскрытия объекта, а также предложенных нами упрощенных показателей эффективности. Данная модель, в частности, обеспечивает всесторонную оценку влияния и обоснованный выбор одного из важнейших технических параметров ТВП - их поля зрения.

Исследовано влияние на эффективность ТВП турбулентности атмосферы, установлены предельные значения дальности действия ТВП, ограниченные лишь турбулентностью. Представлена методика оценки вероятности обнаружения объектов по их поляризационному тепловому контрасту, использование которого позволяет сохранить высокую эффективность ТВП, в частности, в периоды инверсии тепловых контрастов объектов.

1. Предложена методика оценки эффективности многоспектральных видовых

оптико-электронных систем, использующих комплексирование

(синтезирование) разноспектральных изображений, и соответствующий критерий оптимального выбора сочетания спектральных рабочих диапазонов этих систем. Сформулированы практические рекомендации по выбору спектрального рабочего диапазона ТВП.

1. Впервые разработана аналитическая методология оптимизации основных технических и конструктивных параметров несканирующих ТВП, обеспечивающая достижение заданного уровня эффективности вскрытия произвольной совокупности различных объектов в статическом или динамическом режиме работы приборов при их минимальных массогабаритных, а значит, и стоимостных показателях. Установлены оптимальные соотношения размеров кружка рассеяния объектива и элементов

МФП, определен критерий целесообразности использования в несканирующих ТВП микросканирования.

1. Предложены методы повышения достоверности натурного (прямого) и стендового (косвенного - субъективного и объективного) контроля дальности действия несканирующих ТВП. Развиты и теоретически обоснованы простые и, вместе с тем, достаточно представительные и точные методики измерений одного из основных технических параметров этих ТВП - эффективного значения элементарного поля зрения.

Главный результат исследований автора, отраженных в настоящей диссертации, заключается в достижении анонсированной цели и решении всех поставленных задач - разработке научно обоснованных новых и совершенствовании действующих методов моделирования, оптимизации и аттестации несканирующих ТВП. Развитая в диссертации методология анализа, синтеза и испытаний ТВП носит достаточно унифицированный характер и не ассоциирована с какими-либо конкретными схемотехническими решениями при построении ТВП и значениями их параметров, сохраняя, таким образом, свою актуальность на всех этапах научно-технического прогресса в этой области. Отмеченные обстоятельства повышают теоретическую и прикладную значимость соответствующих исследований, особенно в долгосрочной перспективе. Представляется, что выполненная нами работа, раскрывающая резервы повышения как самой эффективности современных ТВП, так и точности расчетной и экспериментальной оценки ее показателей в различных режимах функционирования, будет способствовать успешной реализации и дальнейшему совершенствованию данного вида информационно­измерительной аппаратуры дистанционного зондирования, и это позволяет надеяться на обеспечение необходимых условий для создания в стране конкурентоспособных образцов ТВП различного класса и назначения, удовлетворяющих самым высоким требованиям