

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗОРА
В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ
МАШИНОСТРОЕНИИ**

2007



САМАРА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗОРА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА
Издательство СГАУ
2007

УДК 621.384.3(075)

ББК 31.36

П764



**Инновационная образовательная программа
"Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области аэро-
космических и геоинформационных технологий"**

Авторы: *В.В. Бирюк, С. Г. Матвеев, М. Ю. Орлов, Г. Г. Панкова*

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Ю. И. Цыбизов,

д-р техн. наук, проф. А. Н. Первышин

П764 **Применение тепловизора в энергетическом машиностроении:** учеб. пособие / *В.В. Бирюк* [и др.]. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 96 с. : ил.

ISBN 978-5-7883-0677-3

Рассмотрены история развития тепловизоров и их конструкция, применение в теплотехнике и машиностроении. Дано описание типичных схем тепловизоров и их особенностей. Приведен порядок работы с тепловизором ИРТИС.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений.

УДК 621.384.3(075)

ББК 31.36

ISBN 978-5-7883-0677-3

© В.В. Бирюк, Матвеев С.Г.

М. Ю. Орлов, Г. Г. Панкова, 2007

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СТРОЕНИЕ ГЛАЗА И ВОЗМОЖНОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ.....	6
2 ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ОПТИКЕ И ТЕПЛОВИЗИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ	13
3 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ И ТЕПЛОВИЗОРОВ	16
4 КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛОВИЗОРОВ	37
5 ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РАБОТЫ ТЕПЛОВИЗОРА	38
6 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗОРА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ	40
7 РАБОТА С ТЕПЛОВИЗОРОМ «ИРТИС».....	48
7.1 Технические характеристики и меры безопасности при работе с прибором.....	48
7.2 Подготовка тепловизора к работе	50
7.3 Порядок работы с тепловизором «ИРТИС».....	52
7.4 Руководство по работе с инфракрасной камерой «Иртис»	54
7.4.1 Установка драйверов камеры	55
7.4.2 Подготовка к съемке	56
7.4.3 Съемка	60
7.4.4 Передача данных с камеры	64
7.4.5. Возможные варианты съемки	65
7.4.6 Работа в программном пакете IRPREVIEW	68
7.4.6.1 Инсталляция и запуск программы	68
7.4.6.3 Подготовка термограммы к распечатке	73
7.4.7 Программный пакет NewIRTIS	78
7.4.7.1 Инсталляция и запуск программы.....	79
7.4.7.2 Работа с файлами	81

4.4.7.3 Температурные измерения.....	85
7.4.7.4 Работа с термоизображениями	87
7.4.7.5 Работа с палитрами.....	89
7.4.7.6 Построение термопрофилей	91
7.4.7.7 Дополнительные возможности	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	94
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	95

ВВЕДЕНИЕ

Ограниченные возможности человеческого зрения по мере развития мировой истории постоянно служили причиной создания различных приборов, решавших эту проблему: подзорной трубы, бинокля, микроскопа, телескопа, а затем и приборов ночного видения и тепловизоров. Таким образом, человек вначале расширил диапазон своего зрения в дневное время, а затем и ночью. Последнее особенно важно, так как по отношению к животному миру и насекомым другие возможности человека по обеспечению его ночной ориентации либо выражены слабо, либо отсутствуют (обоняние, биолокация и т.д.). В настоящее время расширяющаяся сфера использования сделала и приборы ночного видения, и тепловизоры доступными не только для крупных организаций и предприятий, но и частных лиц. Впервые появившись в частях специального назначения и хорошо зарекомендовав себя, сейчас эти устройства широко используются и в других, мирных целях. И приборы ночного видения, и тепловизоры по сути - электронные устройства для улучшения видения в темноте. Однако их работа основана на разных физических явлениях: первые усиливают световую энергию, а вторые обнаруживают тепловую энергию, излучаемую объектами. Поэтому оба устройства воспринимают энергию различных диапазонов электромагнитного спектра, что приводит к различиям в возможностях этих приборов по обнаружению и идентификации различных объектов. В последнее время тепловизоры как в областях обороны, так и в гражданском применении начинают постепенно вытеснять приборы ночного видения. Между тем открытой литературы по ним чрезвычайно мало. Восполнить этот пробел и предназначено данное издание, цель которого состоит в рассмотрении истории появления, принципов работы, устройства и применения современных тепловизоров.

1 СТРОЕНИЕ ГЛАЗА И ВОЗМОЖНОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Спектр электромагнитных излучений включает в себя большое количество различных видов излучений - космические лучи, гамма-лучи, рентгеновское излучение, ультрафиолетовые лучи и т.д. (рис. 1).



Рис.1. Спектр электромагнитных излучений:

а) радиоволны с длиной волны λ электромагнитного излучения более 0,01 см; б) инфракрасные лучи $\lambda = 0,74-400$ мкм; в) видимый глазом свет $\lambda = 0,4-0,74$ мкм; г) ультрафиолет $\lambda = 0,01-0,4$ -мкм; д) рентгеновское излучение $\lambda = 0,01-0,000001$ мкм; е) гамма-лучи $\lambda < 0,001$ нм

Из всего спектра человеческий глаз воспринимает длины волн электромагнитных колебаний только в диапазоне от 0,38 мкм до 0,76 мкм. Этот диапазон носит название видимого диапазона (или видимой части спектра) – см. рис. 2.

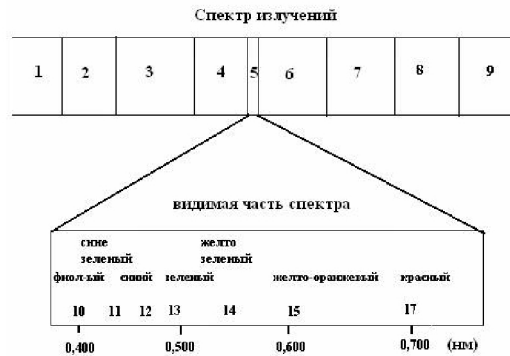


Рис. 2. Цвета видимой части спектра электромагнитных излучений:

1 - космические лучи, 2 – гамма-лучи, 3 – рентгеновские лучи, 4 - ультрафиолетовые лучи, 5 – видимая часть спектра, 6 – инфракрасные лучи, 7 – излучение радаров, 8 – радиоволны, 9 – телевизионные волны

Глаз как орган зрения играет важную роль в восприятии человеком внешней среды, посредством улавливания волн видимой части спектра и преобразования получаемой картины в сигналы для мозга.

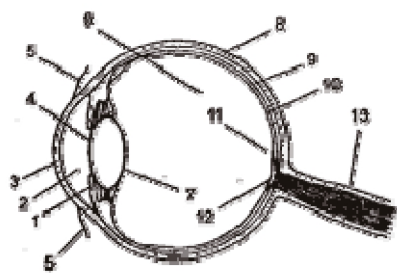


Рис. 3. Строение человеческого глаза:

1 – радужная оболочка; 2 – передняя камера глаза, заполненная жидкостью; 3 – роговица; 4 – зрачок; 5 – веко; 6 – стекловидное тело; 7 – хрусталик; 8 – склера; 9 – сосудистая оболочка; 10 – сетчатка; 11 – желтое пятно; 12 – слепое пятно; 13 – зрительный нерв

Работа глаза осуществляется следующим образом. При наблюдении объекта отраженный свет попадает на прозрачную роговицу глаза 3, проходит через переднюю камеру 2, заполненную жидкостью, отверстие в радужной оболочке 1 и зрачок 4. Пройдя через природную линзу – хрусталик 7, и стекловидное тело 6, свет попадает на сетчатку глаза 10 формируя на ее поверхности уменьшенное зеркально-шарообразное изображение рассматриваемого объекта. Оценка скорости передачи информации от человеческой сетчатки, выполненная Медицинской школой университета Пенсильвании (США), показала, что она составляет около 10 мегабит в секунду, что сопоставимо с скоростью передачи информации по кабелю в компьютерной сети. Зрачок при ярком свете сужается, а в темноте расширяется, изменяя силу светового сигнала. Изменение резкости изображения достигается за счет изменения кривизны хрусталика. Сетчатка глаза имеет два вида светочувствительных клеток-фоторецепторов: колбочки и палочки, преобразующие световые сигналы. Колбочки, количество которых достигает 7 млн., распределены по всей сетчатке, кроме слепого пятна 12, и обладают малой светочувствительностью. Они подразделяются на три вида: сине-, зелено- и красночувствительные и отличаются содержанием особой пигментной жидкости. Каждый пигмент реагирует только на одну треть видимого спектра, т.е. светочувствительные рецепторы реагируют только на си-

ною, зеленую и красную часть видимого спектра. При передаче других цветов, возбуждаются два рецептора, цвета спектров которых формируют данный цвет. При одновременном сильном возбуждении всех трех рецепторов возникает ощущение белого цвета, а при слабом – серого. Отсутствие возбуждения всех трех рецепторов создает ощущение черного цвета.

Следовательно, колбочки обеспечивают восприятие цвета. Между тем палочки обладают гораздо большей чувствительностью. Они наиболее чувствительны к сине-зеленой (510нм) части видимого спектра. Их в сетчатке глаза около 130млн., они практически не передают цвета и работают в основном при малых освещенностях (при плохом освещении, в сумерках, тумане), обеспечивая ахроматическое восприятие.

Из вышесказанного следует, что передняя часть глаза по своей сути представляет линзовую систему, состоящую из роговой оболочки и хрусталика, назначение которых состоит в том, чтобы фокусировать свет на сетчатке, содержащей рецепторные клетки (палочки и колбочки), которые при воздействии света посылают мозгу сигналы, интерпретируемые как зрение.

Глаз – очень сложный человеческий орган, работоспособность которого зависит от большого числа факторов: индивидуальные особенности организма человека, его возраст и т.д.

Радужная оболочка каждого человека (радужка) неповторима и по этой причине может использоваться для идентификации личности, как отпечатки пальцев. Цвет радужки (цвет глаз), зависит от количества пигмента меланина. Считается, что светлые глаза чаще встречаются у представителей северных народов, а темные – южных, хотя встречаются и исключения из этого правила. Так, в результате наследственной особенности меланин может отсутствовать и радужка приобретает красный цвет из-за просвечивающих кровеносных сосудов (так называемые альбиносы). Такие глаза очень чувствительны к свету. Цвет глаз передаётся по наследству, но может изменяться на протяжении жизни. Так, обычно у новорожденных глаза светлые, затем приобретают за-

данный генами цвет, а у стариков вновь светлеют, выцветая. Цвет влияет на зрение. Так, у голубоглазых роговица вдвое чувствительнее, чем у кареглазых. Поэтому сероглазые превалируют среди спортсменов-снайперов.

Разрешение глаза очень непостоянно и изменяется в зависимости от яркости, контраста, времени адаптации к темноте, частоты мельканий, времени рассмотрения, цветности объекта, движения цели, спокойствия окружающей обстановки, пространственных и временных шумов, осевого положения цели относительно оси глаза и многих других физиологических условий.

Как уже говорилось, большинство рецепторов глаза являются палочками, которые располагаются в основном на периферии сетчатки, тогда как колбочки расположены главным образом в центре и середине сетчатки. Хотя колбочек гораздо меньше, чем палочек (1:17), именно они позволяют различать мелкие детали и цвета. Палочки не могут различить цвета и мелкие детали, но у них намного больше чувствительность к свету по сравнению с колбочками.

Влияние уменьшения освещения на способность видеть весьма существенно. Острота зрения может уменьшиться в 200 раз и более, исчезает цветное видение, искажается восприятие глубины.

За зрение при очень низких уровнях освещения (скотопическое зрение) отвечают палочки, а колбочки видят при более высоких уровнях освещения (фотопическое зрение). Фотопическое зрение обеспечивает способность различать цвета и мелкие детали, но только при хорошем освещении. Скотопическое зрение менее качественное; оно ограничено уменьшенным разрешением и обеспечивает различия только между оттенками черного и белого. Скотопическая система обеспечивает повышенную чувствительность и низкие пороги обнаружения при низком уровне освещения. Представление о том, что палочки работают только ночью, а колбочки – только днем, ошибочно. Фактически, палочки и колбочки функционируют в широком диапазоне уровней освещенности, а на промежуточных уровнях они функционируют одновременно. Зона

перехода между фотопическим и скотопическим зрением, где уровень освещенности эквивалентен сумеркам или сумраку, называется мезопическим зрением. Ни палочки, ни колбочки не дают пиковой эффективности в этом диапазоне, но оба активно вносят вклад в визуальное восприятие.

Система палочек и колбочек позволяет глазу поддерживать чувствительность в широком диапазоне уровней освещенности. Чувствительность глаза автоматически приспособливается к изменениям освещенности. Самая слабая освещенность, при которой палочки могут видеть, эквивалентна освещенности в пасмурную безлунную ночь, для колбочек этот рубеж соответствует освещенности ночью при 50% фазе Луны.

Темновой адаптацией называется процесс, во время которого каждый глаз независимо приспособливается при переходе от высокой светимости к низкой светимости. Палочки и колбочки содержат светочувствительное вещество, фотопигмент (родопсин или зрительный пурпур) [1].

Существует три типа фотопигментов колбочки (чувствительные к красному, синему и зеленому). При воздействии света в фотопигментах происходит химическая реакция, преобразующая световую энергию в электрическую активность, инициируя зрительные импульсы в сетчатке, которые затем передаются нервными волокнами от глаза до мозга. Экспонирование интенсивным светом приводит к диссоциации фотопигментов и уменьшению чувствительности сетчатки глаза к тусклому свету, а во время темновой адаптации фотопигменты восстанавливаются.

Полностью адаптированный к темноте глаз восстанавливает чувствительность сетчатки глаза до ее максимального уровня. Возможности палочек и колбочек отличаются по скорости темновой адаптации. Колбочки достигают максимальной чувствительности через 5...7 минут, тогда как палочки требуют 30...45 и более минут абсолютной темноты, чтобы достигнуть максимальной чувствительности после экспонирования.

ния ярким светом. Чувствительность сетчатки глаза очень низка с наступлением темноты, но за минуту она может увеличиться на порядок, а через 40 минут – в 25 000 раз. Быстрое первоначальное увеличение чувствительности объясняется адаптацией колбочек, имеющих более высокую скорость фотохимической регенерации. Палочки приспособляются медленнее, но, в конечном счете, достигают намного большей чувствительности, чем колбочки. Обычно темновая адаптация глаза на 80 % заканчивается в течение 30 минут, тогда как для полной темновой адаптации могут потребоваться часы или даже дни.

Диапазон адекватного функционирования человеческого глаза [3] приведен в табл. 1.

Таблица 1. Диапазон яркости, в котором человеческий глаз может адекватно функционировать

время суток	ночь		сумерки				день					
зрение	скотопическое		мезопическое				фотопическое					
	палочковое		палочко-колбочковое				колбочковое					
логарифмическая шкала яркостей, мЛамберт	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Пример яркостного объекта										Значение по шкале яркостей		
палочковый порог темновой адаптации										-6		
снег при пасмурной погоде										-5		
снег при свете здед										-4		
колбочковый порог темновой адаптации										-3		
снег при полной Луне										-2		
снег в темных сумерках										-1		
белая бумага в 0,3 м от колеблющего пламени свечи										0		
белая бумага в 1 м от 100 Вт лампы										1		
белая бумага при нормальном солнечном освещении										2		
снег или облака под прямыми солнечными лучами										3		

Кроме изменения концентрации фотопигмента у глаза есть и другие механизмы для приспособливания к изменяющимся условиям освещения. Так, темновая адаптация также затрагивает изменение размеров зрачка. Его диаметр может изменяться от 1,5 мм (сжатый зрачок) до 8

мм (расширенный значок), меняет количество света, входящего в глаз, в 30 раз. Еще одним механизмом световой адаптации является нервная адаптация. С уменьшением интенсивности света уменьшается и интенсивность сигналов, передающихся к сетчатке глаза. Однако через какое-то время интенсивность этих сигналов вновь увеличивается. Это изменение происходит за секунды и может улучшить ночное видение в более чем 30 раз. Нервная адаптация подобна переходу от низкочувствительной к высокочувствительной фотопленке в фотоаппарате. Большая доля высокой чувствительности палочек при темновой адаптации является результатом суммирования в сетчатке глаза. Около 100 палочек соединяются с одной ячейкой нервного узла (нервное волокно) сетчатки, чувствительность которой при этом увеличивается. Поэтому возрастание чувствительности сетчатки глаза при темновой адаптации за счет суммирования происходит почти мгновенно.

Воздействие ярким светом сильно влияет на темновую адаптацию и ночное видение. Так, двух, трех часов нахождения человека при ярком солнечным свете достаточно, чтобы задержать начало темновой адаптации палочки на 10 и более минут. Полная чувствительность ночного зрения при этом не сможет быть достигнута в течение многих часов. Ночное зрение можно сохранять используя светозащитные очки. Для эффективности солнечных очков должен уменьшаться поток во всем видимом диапазоне света, а не только в части видимого спектра, поэтому цветные или желтые козырьки и очки не являются защитными. Рекомендуется использование темных солнечных очков с нейтральным серым фильтром, имеющим светопрозрачность в видимом спектре 15% и менее.

Желтое пятно, являющееся частью сетчатки, отвечает за самую высокую остроту зрения (разрешение) и находится в центре поля зрения. Оно обладает высокой плотностью расположения колбочек, но полностью лишено палочек. Таким образом, если освещенность ниже порога чувствительности колбочки (тусклый звездный свет), формируется центральное слепое пятно, которое находится в центре желтого пятна и

охватывает один градус поля зрения. В каждом глазе также всегда имеется физиологическое слепое пятно. Это вызвано положением оптического нерва в тыльной части глаза, над которым нет ни палочек, ни колбочек. Эти физиологические слепые пятна находятся в различных местах глаза у конкретных людей. При низком уровне освещения центральное слепое пятно существенно влияет на зрение. Так, чтобы лучше всего обнаруживать объекты при низких уровнях освещенности, когда чувствительны только палочки, наблюдатель должен смещать ось зрения приблизительно на 15...20 градусов влево или вправо от объекта, чтобы изображение объекта смещалось в то место сетчатки, которое обладает самой высокой плотностью палочек.

Установлено, что ночная слепота человеческого глаза вызывается длительным дефицитом витамина А. Это может являться следствием: хронического голодания, алкоголизма, плохого усвоения жиров и болезней печени. К аналогичному эффекту приводят также изменения в сетчатке, вызванные глаукомой, прогрессирующей дистрофией, различные виды отравлений, а также врожденная патология. Как правило ночное зрение также ухудшается с возрастом наблюдателя.

2 ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ОПТИКЕ И ТЕПЛОВИЗИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

В соответствии с теорией [2, 3] при температурах, отличных от абсолютного нуля, все тела излучают и поглощают электромагнитные волны. Излучение, как правило, возможно, если к телам подводится извне энергия или само тело обладает ее избытком на фоне окружения.

Как уже говорилось, электромагнитное излучение в зависимости от длины волны бывает нескольких видов: рентгеновское, ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное и т.д. Их свойства различны, но природа одинакова – электромагнитное поле. Для теплообмена имеет значение излучение, энергия которого при поглощении его телами превращается в тепловую и наоборот. В наибольшей степени такими свойствами об-

лаждает излучение с длиной волн от 0,4 до 800 мкм. Это излучение называют тепловым. Оно состоит из видимого (светового) излучения (от 0,4 до 0,8 мкм) и из инфракрасного излучения (от 0,8 до 800 мкм). В соответствии с **законом Планка**, устанавливающим зависимость спектральной плотности потока излучения абсолютно-черного тела $E_{0\lambda}$ от длины волны λ и температуры T :

$$E_{0\lambda} = c_1 \lambda^{-5} / (e^{c_2 / (\lambda T)} - 1),$$

где c_1 и c_2 – константы, e – основание натурального логарифма.

Анализ этой формулы показывает, что спектральная плотность потока излучения увеличивается с ростом температуры, а по длине волны меняется по кривой с максимумом. В диапазоне от 0 до 9 мкм основная энергия переносится инфракрасными (тепловыми) лучами. При этом положение максимума спектральной плотности потока излучения зависит от температуры.

В соответствии с **законом смещения Вина** длина волны, отвечающая максимуму плотности, связана с температурой излучающего тела уравнением:

$$\lambda_m T = 2,9 \text{ ммК}.$$

Следовательно, с увеличением температуры максимум сдвигается в сторону более коротких волн. Абсолютно-черное тело имеет сплошной спектр излучения, т.е. излучает при всех длинах волн, а реальные тела могут иметь как сплошной, так и линейчатый спектр.

Способность тела излучать энергию характеризуется спектральной степенью черноты тела:

$$\varepsilon_\lambda = E_\lambda / E_{0\lambda}$$

или степенью черноты тела

$$\varepsilon = E / E_0.$$

Первая показывает соотношение спектральных плотностей потоков излучения реального и абсолютно черного тела (энергий электромагнитных волн с длиной волны λ), а вторая – количества энергии излуче-

ния, испускаемой единицей площади поверхности реального и абсолютно-черного тел в единицу времени.

Степень черноты тела зависит от его природы, температуры, шероховатости поверхности, а иногда и некоторых других факторов. У диэлектриков степень черноты при комнатной температуре часто больше 0,8 и уменьшается при повышении температуры, а у металлов степень черноты существенно ниже чем у диэлектриков, но с ростом температуры она увеличивается. При комнатной температуре стальные и чугунные поверхности имеют степень черноты около 0,05...0,45, а при высоких температурах она возрастает до 0,7...0,8.

В соответствии с **законом Стефана-Больцмана** зависимость поверхностной плотности потока излучения абсолютно-черного тела от температуры определяется уравнением

$$E_0 = c_0 (T/100)^4,$$

где c_0 -коэффициент излучения абсолютно черного тела (5,67 Вт/м²К⁴).

Для реальных тел закон имеет следующий вид:

$$E = \varepsilon c_0 (T/100)^4.$$

Из закона видно, что поверхностная плотность потока излучения возрастает пропорционально четвертой степени абсолютной температуры тела. Из теории известно, что наибольшие отклонения от этого закона наблюдаются у газов и металлов, хотя качественно закон отражает реальную картину.

Закон Кирхгофа устанавливает связь между способностью тела излучать и поглощать энергию излучения. В соответствии с этим законом отношение поверхностной плотности потока излучения тела к его поглощательной способности одинаково для тел, находящихся при одной температуре, и равно поверхностной плотности потока излучения абсолютно-черного тела при той же температуре

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots = E_0.$$

Таким образом, видно, что чем больше тело поглощает, тем больше оно и излучает.

В соответствии с законами Планка и Вина излучательная способность тела зависит от его температуры, следовательно по излучению объекта можно регистрировать его температурное состояние. По закону Вина можно измерять температуру, фиксируя длину волны максимума излучения нагретого тела. Так как характеристики реальных тел не соответствуют характеристикам абсолютно черного тела, то измеренная таким образом температура будет отличаться от термодинамической (определяемой как параметр состояния при термодинамическом равновесии тел). Иногда измеренную температуру называют цветовой, поскольку нагретое тело всегда имеет цветовой оттенок, определяемый максимумом мощности излучения в определенном диапазоне длин волн. Полная энергия теплового излучения, просуммированная для всех длин волн, связана с температурой законом Стефана-Больцмана.

На основании приведенных законов видно, что физическая сущность методов неконтактной регистрации температуры тел основана на том факте, что все тела, температура которых отличается от абсолютно нуля, излучают тепловую энергию. Средства измерения температуры, основанные на регистрации собственного теплового излучения тел, регистрируют либо полную энергию излучения (радиометры), либо спектральное распределение теплового излучения, либо яркость собственного излучения объектов (пирометры). Тепловидение – радиометрическое измерение температуры с пространственным разрешением и с преобразованием температурного поля в телевизионное изображение.

3 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ И ТЕПЛОВИЗОРОВ

Несовершенство природы человеческого глаза непрерывно толкало человека к расширению его возможностей. Особенно важным моментом являлось обеспечение зрения в ночных условиях. Оказалось, что расширение диапазона ночного зрения для визуализации недоступной

для глаза информации является одной из наиболее трудных задач, так как требует значительной научной проработки и определенного уровня развития технологии. Между тем, актуальность работ в этой области наиболее сильно ощущалась в области обороны и вооружений. Основные приборы, используемые для наблюдения в условиях плохой освещенности, – приборы ночного видения (ПНВ) и тепловизоры (ТПВ), различающиеся как по своим возможностям, так и по конструкции.

Принцип действия классического ПНВ основан на преобразовании ИК-излучения, создаваемого на наблюдаемом объекте свечением ночного неба, звездами и луной и т.д., в видимый свет [4]. Основой ПНВ являются электронно-оптические преобразователи (ЭОП).

Функциональная блок-схема оптического тракта современного ПНВ представлена на рис. 4. Изображение наблюдаемого объекта через объектив проецируется в перевернутом виде на входное стекло ЭОП, представляющего собой “высоковакуумную лампу” с двумя плоскими торцами, входным и выходным окнами соответственно. На внутренней стороне входного окна нанесен тонкий полупрозрачный слой светочувствительного материала (фотокатод), испускающий электроны при поглощении квантов света. На внутренней стороне входного окна находится слой люминофора, материала, излучающего свет при попадании на него электрона (экран). Перенос электронов, эмитированных фотокатодом, обеспечивается электростатическим полем, для чего к фотокатоду и экрану приложено напряжение в несколько кВ. Полученное на экране изображение рассматривается через окуляр.

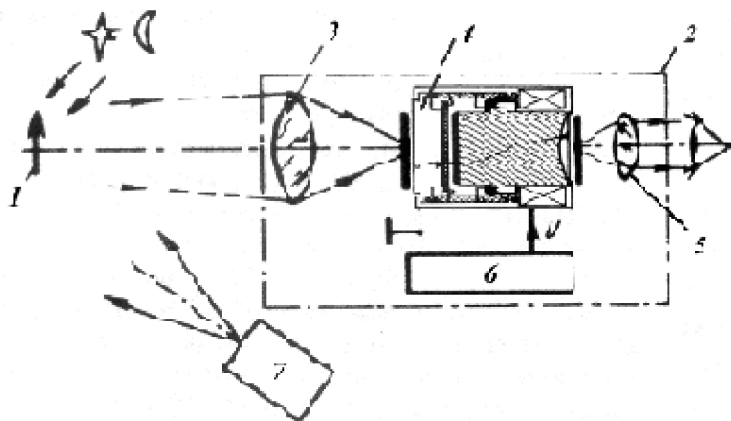


Рис. 4. Функциональная блок-схема оптического тракта современного ПНВ:
 1 – объект наблюдения, 2 – корпус ПНВ, 3 – объектив, 4 – ЭОП со встроенными МКП, ВОЭ и ВИП, 5 – окуляр, 6 – элементы питания, обычно пальчиковые батарейки (типа АА), 7 – встроенная ИК-подсветка

В современных конструкциях ЭОП для усиления изображения используется вторично-эмиссионный усилитель или микроканальная пластина (МКП), устанавливаемая между фотокатодом и экраном. МКП позволяет получить усиление в десятки тысяч раз, а в некоторых ЭОП специального назначения – до 10^7 раз, что достаточно для регистрации единичных фотонов.

Входное и выходное окна ЭОП выполняются на плоском стекле или на волоконно-оптической пластине (ВОП). Для оборота изображения на 180° в качестве выходной ВОП используется волоконно-оптический оборачивающий элемент (ВОЭ), он же твистер. В более сложных конструкциях для оборота изображения используется бинокулярный окуляр или дополнительный линзовый оборачивающий элемент.

Наиболее сложным и ответственным узлом ПНВ, определяющим его возможности и цену, является ЭОП. Первый преобразователь был разработан Холстом с соавторами в исследовательском центре фирмы “Филипс” (Голландия) в 1934 году и по фамилии автора получил на-

именование “стакан Холста”. Схема, иллюстрирующая его принцип действия, приведена на рис. 5.

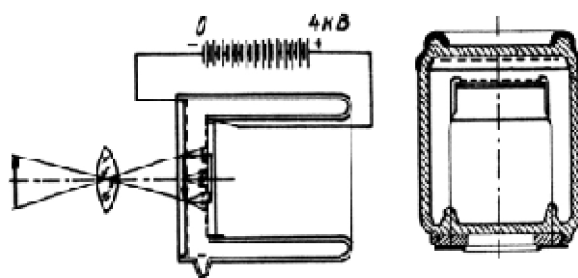


Рис. 5. Принцип действия “стакана Холста”

Этот ЭОП представлял собой два вложенных друг в друга стакана, на плоские доньшки которых наносились фотокатод и люминофор. Приложенное к этим слоям высоковольтное напряжение, создавало электростатическое поле, обеспечивающее прямой перенос электронного изображения с фотокатода на экран с люминофором. В качестве фоточувствительного слоя использовался серебряно-кислородно-цезиевый фотокатод, имевший довольно низкую чувствительность и работоспособный в диапазоне до 1,1 мкм. Этот фотокатод обладал высоким уровнем шумов, для устранения которых требовалось охлаждение до минус 40 °С. Эти ПНВ имели коэффициент усиления яркости 120-1000.

Недостатки позволяли использовать ЭОП только в активном режиме: с подсветкой наблюдаемого изображения ИК-прожектором, а изображение на экране получалось нерезким. Расстояние между фотокатодом и экраном приходилось делать очень малым из-за разлета электронов, покидающих фотокатод под различными углами, что накладывало ограничения на технологию производства. Достижения электронной оптики середины 30-х годов позволили заменить прямой перенос изображения фокусировкой электростатическим полем.

В результате были разработаны трех-, а затем и двухэлектродная системы, обеспечивавшие усиление порядка сотен раз с одновременным оборачиванием изображения (рис. 6). Последующие работы приве-

ли к открытию “мультищелочного фотокатода”, состоящего из арсенидов натрия и калия, активированных цезием. ЭОП с электронным переносом изображения и мультищелочным катодом сегодня относится к нулевому поколению.

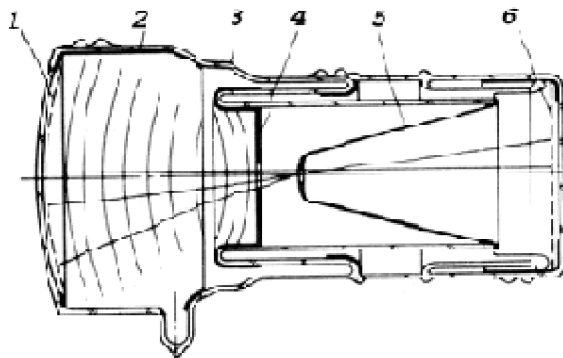


Рис. 6. Конструкция трехэлектродного ЭОП:

1 – фотокатод, 2 – манжета, 3 – корпус, 4 – фокусирующий электрод, 5 – анод, 6 – экран

Появление первых ЭОП в условиях предвоенной обстановки вызвало значительный интерес. “Стакан Холста” был доработан до уровня серийного производства фирмой ЕМІ (Англия), и с 1942 по 1945 год их было выпущено несколько тысяч штук. Из-за недостатков ранних ЭОП первые ПНВ отличались значительными массогабаритными параметрами и энергопотреблением, а также невысоким качеством изображения. Тем не менее они активно применялись в ходе Второй мировой войны всеми сторонами, в том числе и Германией.

Для нужд немецкой армии использовались более современные ЭОП с электронно-оптической фокусировкой, обеспечивающей разрешение на экране до 20 мкм, а в более сложных вариантах даже до 1 мкм. Разработка инфракрасных ПНВ велась в Германии с 1936 г. фирмой АЕГ. Эти приборы не находили широкого применения, пока в 1942 г. для пушки РАК-40 не был создан прибор ночного видения FG1250, принцип действия которого основывался на подсветке цели инфракрасным

прожектором и регистрации отраженного сигнала. Хорошо зарекомендовавшие себя приборы по указанию Г. Гудериана были доработаны, и приборы 1944 г. уже позволяли отчетливо различать цели на расстоянии 1000 метров.

Такие ИК-приборы устанавливались на командирских башенках танков «Пантера» (рис. 7 и 8), а для их сопровождения и подсветки целей использовался бронетранспортер с зенитным прожектором, оборудованным инфракрасным фильтром (рис.9). Один прожектор обеспечивал действия взвода «Пантер» (5 штук). Как правило этими приборами оснащались танковые подразделения СС, применявшиеся на особенно ответственных участках фронтов. Так, например, эти подразделения были использованы во время немецкого наступления в Арденнах и контрнаступления у озера Балатон в марте 1945 г. По имеющимся данным в знаменитом советском ночном наступлении на Берлин, где использовались прожектора, их задачей являлось ослепление немецких приборов ночного видения. Тем не менее промышленность Германии в конце войны не могла уже полностью закрыть вопрос с потребностью в приборах ночного видения и их выпуск не стал массовым.



Рис. 7. Немецкий ПНВ



Рис. 8. Танк «Пантера» с прибором ночного видения на башне



Рис. 9. Бронетранспортер с прожектором подсветки целей

Опыты с ПНВ проводились во время второй мировой войны также в США. Крупных успехов добились американские и английские фирмы. Хорошо известны ночные прицелы для стрелкового оружия “Снайперскоп”, удачно примененные при десанте американцев на остров Окинава в ходе боев с японцами (рис. 10).



Рис. 10. Американские перископические очки

Сейчас ЭОП данного типа уже сняты с производства во всем мире и заменены более эффективными, но и более дорогими преобразователями последующих поколений. Наибольшим недостатком ЭОП с электростатическим переносом изображения является резкий спад разрешающей способности от центра поля зрения к краям из-за несовпадения криволинейного электронного изображения с плоским фотокатодом и экраном. Для решения этой проблемы их стали делать сферическими, что существенно усложнило конструкцию объективов, рассчитываемых обычно на плоские поверхности.

Развитие волоконной оптики в США в 60-е годы позволило усовершенствовать ЭОП. На базе волоконно-оптических пластин (ВОП), представляющих собой пакет из множества светодиодов, были разработаны плосковогнутые линзы, которые стали устанавливать взамен входного и выходного окон. Оптическое изображение, спроецированное на плоскую поверхность ВОП, без искажений передается на вогнутую сторону, что и обеспечивает сопряжение плоских поверхностей фотокатода и экрана с криволинейным электронным полем. В результате применения ВОП разрешающая способность стала по всему полю зрения такой же, как и в центре. ЭОП с ВОП и электростатической фокусировкой в массовом производстве относятся к **I поколению**. При изготовлении этих ЭОП стал использоваться чувствительный фотокатод. Кроме того, в конструкции ПНВ первого поколения стали применять зеркально-линзовые объективы, позволяющие улучшить массогабаритные параметры. В настоящее время ЭОП первого поколения еще находят применение в ночных прицелах для охотничьих ружей и успешно используются там, где требуется только преобразование длин волн ближнего ИК-диапазона в видимый свет, например, для визуального контроля сборки оптических систем связи, в медицине, где применяются ИАГ-лазеры с длиной волны излучения 1,06 мкм. Коэффициент усиления яркости у таких ЭОП составляет 1000, а разрешение в центре не хуже 45 штрих/мм.

В то время как за рубежом развивалась технология волоконной оптики, в СССР приоритетное направление получили каскадные ЭОП М.М. Бутлова. В них для увеличения коэффициента усиления стали применять состыкованные последовательно два, три, а иногда и более ЭОП, собирая их в одном корпусе. Коэффициент усиления яркости трехкаскадного ЭОП составлял 20000-50000. Однако при этом росли искажения, падала разрешающая способность по краям изображения, а сами приборы становились громоздкими, увеличивался их вес. Схема одного из наиболее удачных образцов, представлена на рис. 11. В этой конструкции общее усиление равно произведению усиления всех камер и может достигать 10^7 раз.

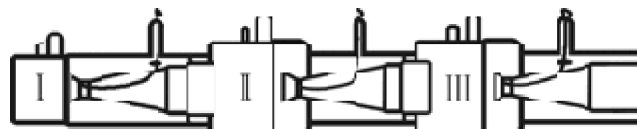


Рис. 11. Конструкция двухкаскадного ЭОП с электростатической фокусировкой электронов типа У-72

Производство таких ЭОП было сопряжено со значительными технологическими трудностями, в частности требовало использования труда стеклодувов только высокой квалификации. К тому же, разрешение по краям поля зрения ухудшалось до 2...3 штр./мм. Тем не менее, массовое применение каскадных преобразователей обеспечило тактическое превосходство вооруженных сил СССР в период 50-60 годов. Использование ВОП для стыковки камер упростило сборку и позволило повысить качество изображения, применение металлокерамики взамен стекла существенно повысило прочность конструкции. Такие ЭОП успешно производились фирмами RCA, ИТТ (США), Philips (Нидерланды) и некоторыми другими. Они не боялись ярких засветок, и единственным их недостатком следует считать значительную длину по оптической оси.

Десятилетнее господство каскадных ЭОП сменилось стремительным отказом от их использования и вытеснением ЭОП следующих поколений. Сегодня эти преобразователи не имеют коммерческого приме-

нения, оставшаяся с периода СССР военная техника оснащается современными малогабаритными ЭОП.

В 70-е годы на основе технологии ВОП фирмами США был разработан вторично-эмиссионный усилитель в виде микроканальной пластины (МКП). МКП представляет собой тонкую пластинку с наклонными микроканалами диаметром 1...12 мкм, числом более 1млн, к которой приложен высокий потенциал. Такой ЭОП работает следующим образом. Электрон, выбитый с катода ЭОП, ускоряется и попадает в канал МКП, там, ударяясь в боковую наклонную стенку канала, он, в свою очередь, выбивает из нее еще несколько свободных электронов, которые далее, ускоряясь электростатическим полем, движутся по каналу и ударяются в его противоположную стенку, снова выбивая несколько свободных электронов (умножаясь). Таким образом, на расстоянии менее 1мм удается усилить поток электронов в сотни раз. Если, вылетая из катода, электроны разгоняются в разгонной камере и попадают на МКП, а затем на люминофорный экран, то такой ЭОП называется **инверторным**. Коэффициент усиления яркости у таких ЭОП до 50000. Если же электроны с катода сразу попадают непосредственно на МКП, а затем на экран, то такой ЭОП называется **планарным**. Коэффициент усиления яркости у таких ЭОП до 35000. Из-за наличия разгонной камеры инверторные ЭОПы имеют больший коэффициент усиления яркости, но и больший осевой габарит. Однако планарные ЭОПы имеют большую чувствительность фотокатода и видимость изображения у них даже лучше, чем у инверторных ЭОП.

Изготовление МКП, как и ВОП, относят к высоким технологиям. Оборот изображения в ЭОП с МКП, **относимых к II поколению**, по прежнему осуществляется за счет электростатической фокусировки (рис. 12).

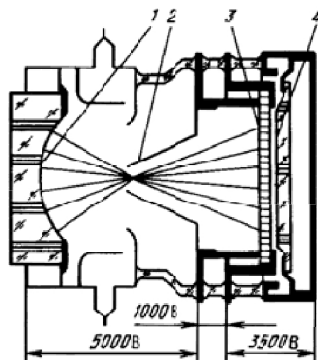


Рис. 12. Конструкция ЭОП с электростатической линзой:
1 – фотокатод, 2 – анод, 3 – микроканальная пластина, 4 – экран

В конце 70-х годов были разработаны ЭОП с МКП бипланарной конструкции, то есть без электростатической линзы, своего рода технологический возврат к прямому, как и в “стакане Холста”, переносу изображения (рис. 13). Полученные миниатюрные ЭОП, относимые к **II+ поколению**, позволили разработать очки ночного видения (ОНВ) псевдобинокулярной системы, где изображение с одного ЭОП разводится на два окуляра с помощью светоделительной призмы. Оборот изображения здесь осуществляется в дополнительных мини-объективах (рис. 14).

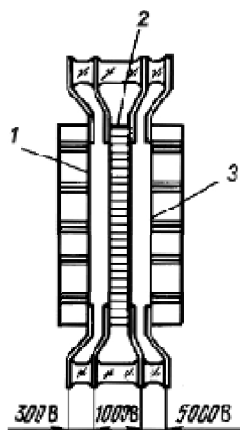


Рис. 13. Конструкция плоского ЭОП:
1 – фотокатод, 2 – микроканальная пластина, 3 – экран



Рис. 14. Устройство ОНВ псевдобинокулярной схемы (на примере ПНВ74):
 1 - корпус ОНВ, 2 – окуляр, 3 - оборачивающий объектив, 4 - зеркало, 5 - коллиматор (лупа) с призмой, 6 - корпус ОНВ, 7 - ИК-подсветка, 8 – ЭОП, 9 - корпус объектива, 10 – объектив, 11 - крышка объектива

Вес таких ОНВ лежит в пределах 500...700 г. Сегодня это наиболее растражированные ПНВ, применяемые в ВС и спецслужбах различных стран мира.

Следующим шагом в развитии ЭОП стало повышение чувствительности фотокатода. В результате фундаментальных исследований, начатых еще в 70-х годах, было установлено, что оптимальным материалом для создания фотокатода является арсенид галлия, способный эффективно эмитировать электроны при начальном излучении с длиной волны 0,9 мкм и менее.

Однако реализации AsGa-ФК длительное время препятствовало наличие энергетического барьера, не позволявшего электронам оторваться от поверхности полупроводникового слоя (потенциального барьера

электронного сродства). Эту проблему успешно решили в исследовательском центре “Филипс”, предложив теорию ОЭС (отрицательного электронного сродства). Получение AsGa-ФК возможно только в условиях сверхвысокого вакуума порядка $10^{-10} \dots 10^{-11}$ мм рт.ст., а весь процесс должен производиться под контролем сложной диагностической аппаратуры. Из-за быстрого окисления поверхности фотокатода на воздухе сборку ЭОП III поколения требуется производить в вакуумной камере с помощью манипуляторов. Это определило чрезвычайно высокую стоимость этих преобразователей. Коэффициент усиления яркости таких ЭОП составляет 35000, а ресурс до 10000...19000 часов, что в три раза больше, чем у ЭОП второго поколения. При разработке ЭОП III были применены достижения технологий всех предшествующих поколений, что позволило создать сверхминиатюрную конструкцию. В корпус таких ЭОП уже встроены высоковольтные источники питания (ВИП). Потребление тока не превышает 20 мА, при напряжении питания 3В, что позволяет современным ПНВ работать непрерывно почти сутки от двух обычных пальчиковых батареек. Высокая чувствительность нового фотокатода позволила видеть в наихудших условиях, называемых “пасмурный звездный свет”, что означает наличие облаков и отсутствие луны, тогда как ПНВ с ЭОП II были ориентированы на работу в условиях “естественной ночной освещенности” - при свете звезд без облачности и света луны. Выпуск ЭОП III для нужд армии США производится с 1992 года (фирмы ИТТ и Litton NV). В настоящее время ЭОП III считаются **ключевой военной технологией**. Их наличие создает армии и авиации огромное преимущество перед потенциальным противником в боевых действиях в ночное время.

Кроме США производство преобразователей на основе AsGa-ФК осуществляет только Россия. В России производство ЭОП III осуществляется двумя фирмами: “Катод” (Новосибирск) и “Геофизика-НВ” (Москва).

Высокая стоимость ЭОП III нашла отражение в повышении эффективности более простых преобразователей. Разработка этого направле-

ния обусловила возврат к мультищелочному катоду, первоначально с повышенной чувствительностью в ИК области (S-25), при сохранении конструктивных решений, достигнутых в III поколении. Впоследствии был разработан фотокатод с особо высокой чувствительностью (S-25R). На базе таких катодов сегодня производятся ЭОП II⁺ и SUPER II⁺ поколений соответственно. Производители ЭОП III признают, что не существует принципиальных различий в эффективности между новыми системами Super II⁺ и III поколений. Преимущества преобразователей третьего поколения становятся очевидными при старении этих устройств, так фотокатоды S II⁺ теряют чувствительность (деградируют) по мере использования.

Все ПНВ также могут быть подразделены на приборы **пассивного** и **активного** типов. Пассивные приборы ночного видения улавливают внешний свет в видимом и инфракрасном диапазонах, а активные имеют встроенный инфракрасный осветитель, позволяющий подсветить объект наблюдения, когда отраженного от объекта внешнего света оказывается недостаточно.



Рис.15. Инфракрасный прожектор и приборы ночного видения на современном танке Т-72

В настоящее время ведутся активные работы в разработке ЭОП IV поколения и в направлении улучшения схемотехники самих ПНВ. Большинство работ связано с совершенствованием эргономических характеристик, конструкции и расширением функциональных возможностей приборов. Приборы ночного видения отечественной разработки,

усиливающие яркость в 500 тысяч были продемонстрированы на выставке «МАКС-2007» [5]. Было заявлено о разворачивании работ над пятым поколением.

Сравнительные характеристики ЭОП различных поколений приведены в табл. 2 [4].

Таблица 2. Сравнительные характеристики ЭОП

Поколения ЭОП	Тип фотока-тода	Интегральная чувствительность, мкА/лм	Чувствительность на длинах волн 830-850 нм, мА/Вт	Коэффициент усиления, усл. ед.	Доступная дальность распознавания фигуры человека в условиях ЕНО***, м	
0	“Стакан Холста”	S-1	20-40	около 1, ИК подсветка	--	--
	0	S-20	150-200	только при свете луны или ИК осветителе	До 100	40
	SUPER 0				100-200	40
I**	I	S-20	150-200	до 10	250-500	60
	I+	S-25	150-200		500-1000	90
	Super I ⁺	S-25R	250-350			25-35
II	II	S-25	220-300	18-25	(2,5-3,0)×10 ⁴	150
	II ⁺					200
	Super II ⁺ или II ⁺⁺	S-25R	350-500	30-40		250
III	III	Ga-As	1000-1350	70-120	(3,0-4,0)×10 ⁴	250
	Mil-Spec III	Ga-As	1550-1800	80-190	(3,0-5,5)×10 ⁴	300

Наряду с ПНВ все более широко в качестве эффективного средства, обеспечивающего видимость в темное время, применяются тепловизоры.

Тепловизор (инфракрасная камера, тепловизионный прибор) - это устройство для съемки изображений в инфракрасном диапазоне волн.

Тепловизоры (ТПЗ) работают по температурному контрасту, и поэтому лишены многих недостатков приборов ночного видения. Вместе с тем по отношению к ПНВ тепловизоры как правило обладают меньшей разрешающей способностью, имеют более сложную конструкцию и большую стоимость. Чаще всего ТПЗ используется в качестве прибо-

ра ночного видения или для получения температурного поля объекта. При помощи тепловизора можно мгновенно измерить температуру различных точек объекта. По сути тепловизоры являются измерительными приборами, поэтому их иногда называют измерительными тепловизорами.

Отличие ТПЗ от ПНВ состоит в том, что они видят не отраженное инфракрасное излучение, а собственное излучение целей и предметов. Поэтому дальность действия ТПЗ не зависит от освещенности. Это позволило расширить область применения тепловизоров по отношению к приборам ночного видения. Слабо зависит дальность действия тепловизора и от состояния атмосферы. Ограничения на работу тепловизора накладывают лишь неблагоприятные погодные условия: наличие повышенной влажности, тумана, плотной дымки, пыли, дыма или грязи на объекте.

В настоящее время тепловизоры применяются во многих областях науки и техники. При контроле стартовых комплексов космических ракет могут быть выявлены утечки компонентов и повреждения в электропроводке. Тепловизоры позволяют осуществлять мониторинг зданий, обнаруживая малейшие утечки тепла. В развитых странах считают, что теплоаудит в коммунальном хозяйстве вообще невозможен без таких приборов. В медицине тепловизоры позволяют ставить достаточно точные диагнозы, т.к. температурные поля здорового и больного человека отличаются (обычно температура больных участков тела повышена).

Широко используются тепловизоры в военной технике. Так, ими оснащаются современные танки, где они приходят на замену стандартных приборов ночного видения. Оказалось, что они кардинально повышают боевые качества танка не только ночью, но и днем – с их помощью улучшается видимость в туман, в условиях использования противником камуфляжа и маскировки, дыма на поле боя. Поэтому в процессе стрельбы тепловизор танка может быть использован в большинстве случаев для поиска целей и прицеливания по ним. Тепловизор также зна-

чительно повышает возможности ведения разведки в плане выявления мест дислокации (что важно при противодиверсионной деятельности), с их помощью также можно например увидеть следы проехавших танков или нарушения почвы при установке мин.

В связи с работами по снижению цены тепловизоров их стали использовать даже промысловики – охотники, т.к. они увеличивают дальность обнаружения зверя, что увеличивает время подготовки к стрельбе и вероятность надежного поражения цели.

Устроен тепловизор следующим образом. Он включает в себя: **объектив, тепловизионную матрицу и электронный блок обработки сигнала.** По конструкции он схож с современной видеокамерой, но из-за специфики инфракрасного диапазона в нем нужно проводить более сложную обработку сигнала. Каждое нагретое тело испускает тепловое излучение, интенсивность и спектр которого зависят от свойств тела и его температуры. Принцип действия тепловизора заключается в том, что инфракрасное (тепловое) излучение от исследуемого объекта через оптическую систему (объектив) передается на приемник, представляющий собой тепловизионную матрицу. Далее полученный видеосигнал посредством электронного блока измерения, регистрации и математической обработки оцифровывается и отображается на экране компьютера или дисплее тепловизора. Тепловизоры поставляются с программным обеспечением, необходимым для хранения и анализа инфракрасных изображений и для создания профессиональных отчетов. Программное обеспечение тепловизора позволяет настраивать и изменять основные параметры сохраненного изображения (компенсацию отраженного тепла, цветовую палитру и т.д.). Это не только повышает удобство и достоверность обследования тепловизором, но и избавляет от необходимости повторного сканирования.

Объектив является самым сложным и проблемным элементом тепловизора. Дело в том, что традиционное стекло непрозрачно для инфракрасного излучения с длиной волны 8...12 микрон (именно в этом диапазоне работают неохлаждаемые матрицы). По этой же причине нельзя

использовать тепловизор через оконное стекло, так как картина будет сильно искажаться. Для изготовления тепловизионных объективов применяется очень дорогой материал-германий, месторождение которого в нашей стране находится только под Красноярском [6]. В связи с этим стоимость объектива может составлять до 45% стоимости всего прибора.

Другим важным элементом прибора является его чувствительный элемент – матрица, стоимость которой также находится на уровне 45% от стоимости прибора. Матрица (решетка) миниатюрных детекторов воспринимает инфракрасные сигналы и превращает их в электрические импульсы, которые после усиления преобразуются в видеосигнал. В зависимости от требуемой чувствительности тепловизор имеет охлаждаемую или неохлаждаемую матрицу. Наличие охлаждения позволяет повысить чувствительность, но при этом растут габариты, повышается стоимость (охлаждение матрицы производится до температур $-210 \dots -170$ °C), увеличивается время выхода на режим работы. Неохлаждаемые надежнее, компактнее, на порядок дешевле, проще в эксплуатации, имеют небольшое энергопотребление, но при этом обладают меньшей чувствительностью. Простота и относительная дешевизна неохлаждаемых тепловизоров делают их массовыми, их доля на рынке достигает 90 % от продаж тепловизоров. Однако заменить ими охлаждаемые приборы, при сохранении их характеристик, пока не удастся.

Фотоэлектрические (охлаждаемые) матрицы работают следующим образом. Фотоны, попадая на поверхность полупроводника (HgCdTe, InSb), переводят носители заряда на нем из связанного состояния в свободное. Количество переходов пропорционально интенсивности теплового излучения объекта. Матрица фотоэлектрических детекторов в этом случае обязательно должна охлаждаться до -200 °C, иначе собственные тепловые колебания решетки полупроводника также вызовут интенсивное высвобождение носителей заряда, на фоне которого генерация от светового воздействия станет незаметной.

Работа неохлаждаемых матриц основана на тепловом преобразовании, в основе которого лежат различные эффекты, например – зависимость электрического сопротивления от температуры. Такая матрица представляет собой набор миниатюрных болометров – приборов для измерения энергии излучения с помощью термочувствительного элемента, поглощающего это излучение).

Обе конструкции матриц, как уже отмечалось выше, имеют свои достоинства и недостатки. Главное достоинство охлаждаемых фотоэлектрических матриц – высокая чувствительность (в особенности в коротковолновом диапазоне). Работа в коротко- и средневолновом ИК-диапазоне (3...5 мкм) таких матриц дает большее разрешение по сравнению с микроболометрическими матрицами. Камеры с микроболометрическими матрицами в основном работают в длинноволновом ИК-диапазоне (8...12 мкм). В этом диапазоне находится максимум излучения при комнатной температуре. За счет большей длины волны такое излучение лучше проникает сквозь туман, дым или водяные пары.

Устройство микроболометра показано на рис. 16. Показанный микроболометрический элемент представляет собой терморезистор на основе оксида ванадия. Он выполнен в виде «моста», поднятого на высоту нескольких микрометров над кремниевой подложкой, на которой расположены микросхемы. С подложкой мост соединяется двумя тонкими токопроводами – контактами с низкой теплопроводностью. Чтобы использовать излучение, не поглощенное мостом, на подложку наносят металлическое покрытие, отражающее ИК-излучение, а для уменьшения конвекции откачивают воздух. При нагревании элемента сопротивление моста изменяется, что и обнаруживается чувствительными измерительными схемами в реальном времени.

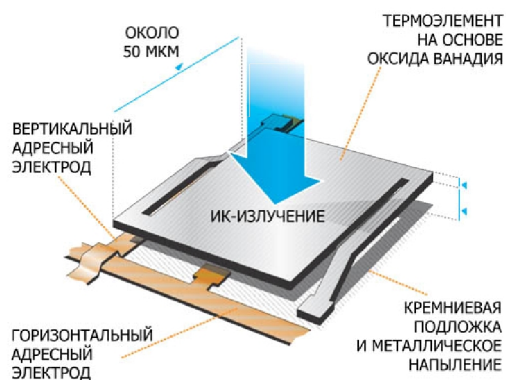


Рис.16. Устройство микроболметра [6]

Тепловизоры с неохлаждаемыми матрицами недороги, компактны, начинают работать сразу после включения, имеют большой срок службы и низкое энергопотребление. Однако, т.к. они уступают по чувствительности охлаждаемым камерам, для них требуются светосильные объективы.

Рассмотрим простейшую схему тепловизора (рис. 17).

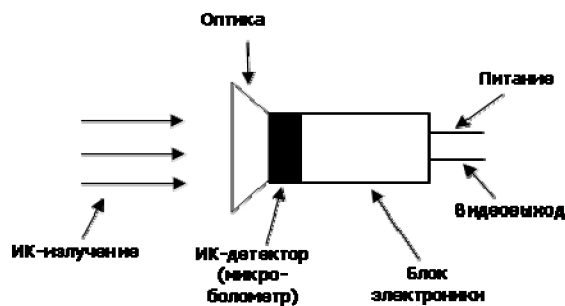


Рис. 17. Простейшая схема тепловизора

Инфракрасное излучение через специализированную, как правило, германиевую оптику попадает на детектор, чувствительные элементы которого меняют свои свойства, вследствие чего изменяется снимаемый с них электрический сигнал. Далее этот сигнал обрабатывается блоком

электроники; информация об излучении преобразуется и выдается в понятном человеческому мозгу виде - псевдовидеоизображении тепловой картины, принимаемой приемником (рис. 18). Такая картина может выглядеть, например, следующим образом:

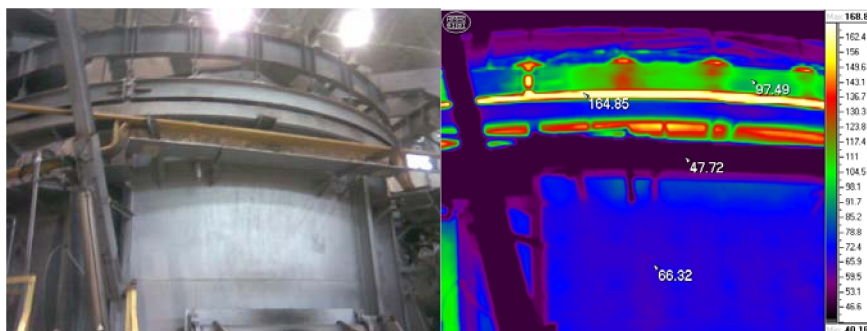


Рис. 18. Объект и изображение его тепловой картины

Монохромное или цветное отображение зависит не от детектора, а от интерпретации электроникой получаемого с детектора изображения (так, для охранных тепловизоров рекомендуется применение черно-белого варианта для более четкого различения образов оператором).

Как и у ПНВ в развитии ТПЗ прослеживается ряд поколений. Обычно развитие тепловидения делат на четыре поколения:

1. ТПЗ на одиночных линейках фотоприемников на основе КРТ с двумерной разверткой;
2. ТПЗ на субматрицах на основе КРТ с суммированием сигналов не менее чем по 2 элементам и одномерной разверткой;
3. ТПЗ на матрицах CdHgTe с размером чувствительных элементов 20мкм. Чрезвычайно высокая чувствительность таких фотоприемников позволяет получить температурную чувствительность тепловизора $T < 0,07 \text{ }^\circ\text{C}$;
4. ТПЗ на тепловых неохлаждаемых матрицах на основе микроболометров из кремния, а также на основе пироэлектрических матриц и других материалов (типа VO). В тепловизорах 4-го поколения отсутствуют сканер и система глубокого охлаждения.

В настоящее время за рубежом, в армии США и стран НАТО, задачи ночного видения решаются с помощью тепловизоров 1-го поколения. Во всех этих приборах использован принцип модульного конструирования. В виде образцов существуют тепловизоры ТПЗ всех поколений. В нашей стране пока в серийном производстве в основном освоены тепловизоры нулевого и первого поколений.

Для устранения недостатков тепловизоров многие фирмы создают комбинированные и комплексные приборы, которые работают как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне спектра.

В России в последнее время особенно быстрыми темпами проводятся работы по созданию тепловизоров гражданского применения, которые могут быть использованы в различных областях: строительстве, машиностроении, энергетике и т.д.

4 КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛОВИЗОРОВ

Строгой классификации тепловизоров не существует, однако зачастую используется деление по различным признакам.

Так, по назначению тепловизоры могут быть:

- тепловизоры общего назначения;
- тепловизоры для решения научно-исследовательских задач и контроля технических процессов;
- тепловизоры для применения в строительстве;
- тепловизоры специального назначения.

По конструкции тепловизоры делятся на две категории: с охлаждаемой и неохлаждаемой матрицей.

По стоимости тепловизоры могут разделяться на:

- бюджетные модели;
- профессиональные модели.

Такое деление как правило зависит от назначения прибора, его конструкции и потенциальных возможностей.

По массогабаритным характеристикам существует два класса тепловизоров: **носимые** и **возимые** тепловизоры.

С точки зрения развития тепловизоры делятся на четыре поколения (см. выше).

По спектральной характеристике тепловизоры систематизируются на **средневолновые тепловизоры (СВТВ)** и **длинноволновые тепловизоры (ДВТВ)**. Первые (СВТВ) используют диапазон 3...5 мкм электромагнитного спектра и требуют механического или термоэлектрического холодильника для поддержания температуры датчика 77К. ДВТВ - не требуют охлаждения ниже комнатной температуры и используют диапазон 8...12 мкм электромагнитного спектра.

5 ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РАБОТЫ ТЕПЛОВИЗОРА

В общем случае основными параметрами, характеризующими работу тепловизоров, являются:

- материал ФПМ тепловизора;
- длины волн (или частоты), на которых материал ФПМ чувствителен;
- эквивалентная шумовая температура (ЭШТ);
- минимальная разрешимая разность температур (МРТ);
- минимальная обнаруживаемая разность температур (МОТ);
- разрешающая способность.

Эквивалентная шумовая температура – это температура эквивалентного черного тела, помещенного в плоскость объекта и создающего на выходе тепловизора отношение сигнала к шуму, равное единице. Иногда пороговую характеристику тепловизора определяют эквивалентной шуму разностью температур, которой называют минимальную разность температур двух излучателей, например, объекта и окружающего его фона (или отдельных их фрагментов), принимаемых за черные тела, при которой разность сигналов, создаваемых этими излучателями на выходе фотоприемного устройства, равна уровню шума.

Такие параметры измерения как минимальная разрешимая температура (МРТ) и минимальная обнаруживаемая температура (МОТ) улучшаются при низком значении ЭШТ.

Минимальная разрешимая разность температур – это разность температур специального штрихового тест-объекта (трех- или четырех-полосной миры с прямоугольным законом изменения яркости полос и отношением их высоты к ширине 7:1), которая обеспечивает необходимое для разрешения пороговое отношение сигнал-шум μ_n (обычно 2,0...2,5) [7]. Служит для оценки чувствительности датчика к температуре (тепловым сигналам) и его способности разрешать температурные различия (зависимость физических размеров и тепловой чувствительности).

Минимальная обнаруживаемая разность температур – это минимальная разность температур между объектом и фоном, которая может быть обнаружена данным тепловизором.

Качество тепловизоров также оценивают их **контрастной чувствительностью** (пороговым контрастом на входе прибора), которая сравнивается с контрастом, определяемым соотношением яркостей наблюдаемого объекта и фона в плоскости расположения объекта и называемым иногда контрастным отношением «сигнал-фон» в плоскости объекта

$$\mu_k = \frac{L_{об} - L_{ф}}{L_{ф}},$$

где $L_{об}$ и $L_{ф}$ - яркости объекта и фона в плоскости объекта.

Важными параметрами при рассмотрении изображения тепловизора являются также **чувствительность** и **разрешение**. Чувствительность – мера минимальной температурной разности, которая может быть обнаружена или рассмотрена. Система с высокой чувствительностью способна обнаруживать очень маленькие температурные различия. Разрешение, иногда называемое геометрическим или пространственным разрешением, является мерой минимального размера, который может быть разрешен системой. Система с высоким разрешением может обнаружить очень маленькие объекты.

Для описания теплового изображения используются термины **яркость** и **контраст**. В этом случае яркость фактически относится к уров-

ню интенсивности температурного излучения, при котором тепловое изображение хорошо видно на экране. Тепловизор способен разрешить тысячи уровней температурного излучения и отобразить их на экране в цветном или полутонном виде. Демонстрация полного диапазона тепловых уровней создает изображение с небольшим значением теплового контраста.

Контраст, с другой стороны, определен как отношение между максимальным и минимальным значениями яркости на экране. В этом случае контраст относится к диапазону уровней температуры, представленным специфическим тепловым изображением, и часто определяется как "усиление" или "интервал". Контраст может быть увеличен, если выбрать маленький диапазон тепловых уровней, называемый интервалом. Чем более узок интервал, тем выше контраст. После установки значений интервала и уровня тепловое излучение ниже интервала кажется черным, а излучение выше интервала кажется белым.

Разрешающая способность тепловизора определяется как способность обнаружить пару штрихов, разделенных расстоянием в толщину одной линии. Разрешение зависит от расстояния между тепловизором и объектом наблюдения.

6 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗОРА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Тепловизоры применяются в большинстве областей науки и техники. Если провести деление по отраслям, то оно будет следующим.

В области авиации и космонавтики с помощью тепловизоров могут определяться дефекты структуры панелей, защитных покрытий, контроль теплового режима бортовой радиоэлектронной аппаратуры, состояния лопаток ГТД, выполняться некоторые аэродинамические эксперименты.

На объектах **атомной энергетики** может быть выполнена дефектоскопия тепловыделяющих элементов, дистанционная проверка энергокоммуникаций (отслеживание движения теплоносителя).

В области строительства и энергообеспечения: выявление и распознавание дефектов строительных конструкций; определение тепловых потоков и уточнение коэффициента теплообмена наружных поверхностей, коэффициента теплопередачи и термического сопротивления; выявление зон повышенных тепловых потерь; оценка энергоэффективности теплоизоляции с определением зон сверхнормативных тепловых потерь; составление карт теплопроводов и теплотрасс; обнаружение мест утечек теплоносителя; нарушений состояния гидро-теплоизоляционных покрытий; определение мест и степени активизации мерзлотных, эрозийных, оползневых и обводняющих процессов; диагностика балок и плит перекрытий мостов.

В металлургии: обнаружение дефектов во всех видах металлопроката при скоростях перемещения проката до 2 м/с и температуре до 450°C, контроль технического состояния крупных тепловыделяющих объектов (доменных, коксовых, цементных и других печей, котлов, воздухопроводов и дымоходных труб), определение и контроль температуры расплавов.

В автомобильной и судостроительной промышленности: дефектоскопия сварных швов, упрочняющих покрытий и качества закалки.

В агрокомплексе: энергообследование объектов сельского хозяйства на предмет энергосбережения, контроль состояния зернохранилищ, накопительных резервуаров, скотоводческих ферм.

В области вентиляции и кондиционирования: диагностика герметичности коммуникаций, контроль технического состояния компрессоров, вакуумных насосов.

В области железнодорожного транспорта: обнаружение перегрева букс, дефектов контактных сетей, мест и величины стока электричества на изоляторах, диагностика электрооборудования подвижного состава, рельс, опор и пролётных строений мостов.

В машиностроении: контроль тепловых режимов работы машин и механизмов, дефектоскопия деталей и узлов; обнаружение и распознавание трещин.

В нефтехимической промышленности: обнаружение утечек и экологический контроль охранных зон с помощью лазерной, инфракрасной, радиометрической и других измерительных систем; диагностика состояния изоляционного покрытия и герметичности швов, утончения стенок труб; фиксация несанкционированных подключений; определение пространственного положения магистральных трубопроводов; выявление нарушений залегания трубопроводов в грунте; координатная привязка трубопроводов; контроль реакторных колонн и энергоагрегатов.

В медицине можно выявлять опухоли и воспалительные процессы, нарушения кровообращения, травмы и даже психическое состояние человека.

В криминалистике с помощью тепловизоров можно обнаружить стрелявшее оружие, гильзы, трупы, тайники.

Примеры использования тепловизора в энергетике

Тепловизор находит все более широкое применение в энергетике. Так, с помощью тепловизора можно зафиксировать нарушение соединения в подстанции [8] - см. рис. 19. На рисунке представлены фотографии, выполненные с помощью обыкновенного фотоаппарата (рис. 19а) и с помощью тепловизора (рис. 19б).

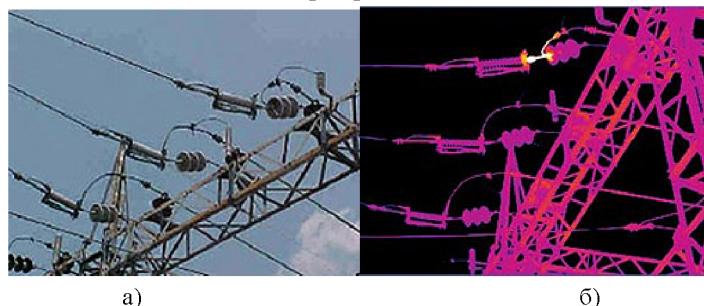


Рис. 19. Определение нарушений соединений в электросетях с помощью тепловизора

На инфракрасном изображении сразу видно «горячее» соединение (измеренная температура составляет около 225°C), тогда как на обычном снимке присутствие дефекта не обнаруживается. Данное электри-

ческое соединение было повреждено в результате грозы, когда контакт приварился к опорному кронштейну изолятора.

Другим применением тепловизора в энергетике является определение с его помощью потерь тепла (рис. 20 а и б). Остекление рассматриваемого офисного здания выполнено в основном с помощью одинарных стеклопакетов и в одном случае – с помощью двойного стеклопакета. Анализ снимка тепловизора показывает, что при применении двойного стеклопакета, потери тепла из здания существенно меньше.



Рис. 20. Определение потерь тепла из здания с помощью тепловизора

Тепловизор также позволяет получить представление о утечках тепла в помещении – рис. 21.

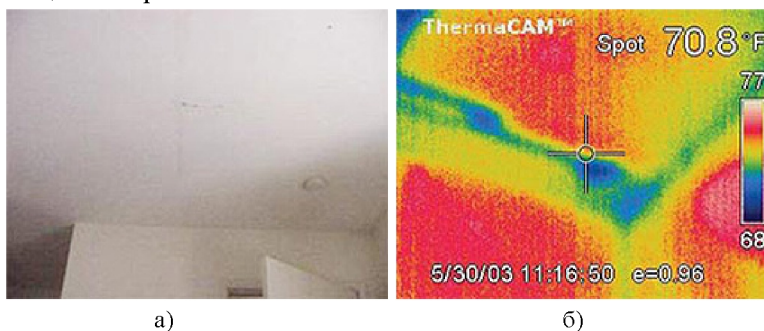


Рис. 21. Утечки тепла в местах стыка плит, обнаруженные с помощью тепловизора

В промышленности с помощью тепловизора также можно решить большое количество задач. Так, например, можно определять уровень жидкости в резервуарах [8] – рис. 22. Эти измерения основываются на разнице уровней температур самой жидкости и материала резервуара. В приведенном примере четко видна разница в температурах металла ре-

зервуара и жидкости, отображаемая с помощью температурной линейки.

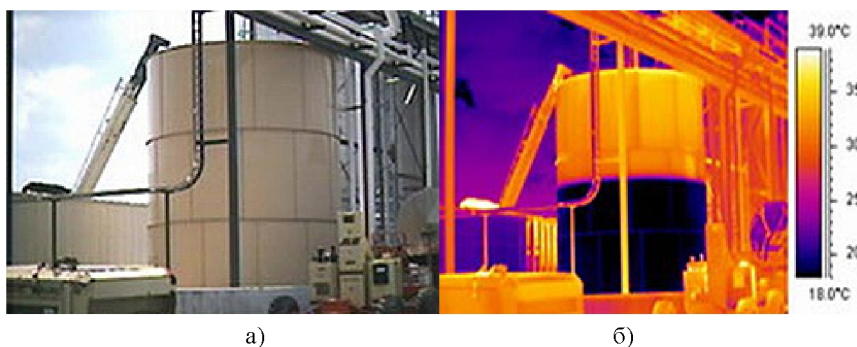


Рис. 22. Определение уровня жидкости в резервуаре с помощью тепловизора (а - обычный снимок, б - снимок ИК-камеры).

С помощью тепловизора в машиностроении также можно определять различные неисправности движущихся узлов и механизмов. На рис. 23 приведен пример с перегревом ременной передачи с системой шкивов. Сопоставление фотографии с снимком ИК-камеры четко показывает, что тепловизор позволяет легко обнаружить место перегрева.

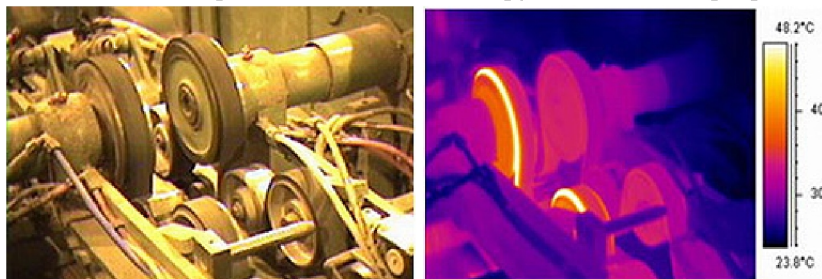


Рис.23. Перегрев в ременной передаче, обнаруженный с помощью тепловизора

Производство радиоэлектронной аппаратуры и качество ее изготовления напрямую отражают состояние развития машиностроения современных государств. Поэтому вопросам производства качественной электроники в мире уделяется все большее внимание. Уменьшение размеров электронных деталей и плотность их компоновки в электронных блоках создают проблему отвода тепла, сокращающую ресурс всего

изделия в целом. В связи с этим на стадии проектирования электронной аппаратуры необходимо получать данные о распределении тепла в электронных блоках, чтобы использовать их в процессе доводки. Из-за маленьких размеров электронных деталей обычные контактные методы измерения температур (например, с помощью термопар), здесь оказываются непригодными, так при контакте термопара вносит погрешность в измеряемое поле температур. Поэтому в настоящее время при оценке отвода тепла от деталей стал широко использоваться тепловизор, который дает возможность судить об общем распределении температурного поля объекта без внесения в него изменений и отображает это распределение на дисплее в виде термоизображения (рис. 24) [9].

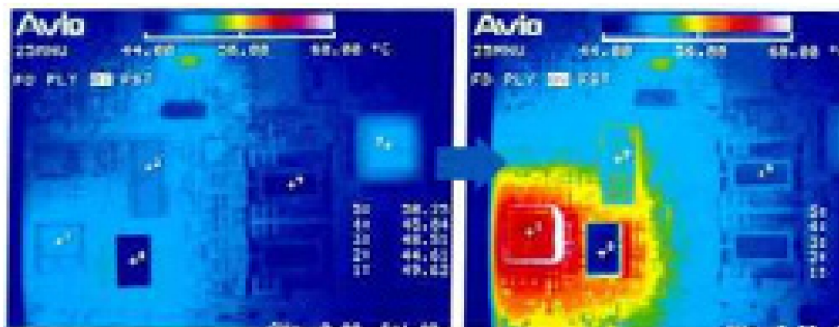


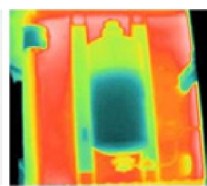
Рис. 24. Изменение температурного поля электронного блока после его включения (правый снимок)

Другой областью применения тепловизоров в электронике является ускоренный поиск с их помощью неисправностей для последующего их исправления. В поврежденной области с коротким замыканием, электрическое сопротивление, например, становится чрезмерно низким, что приводит к повышению температуры в этом месте. Примеры обнаружения неисправностей в электрооборудовании показаны в табл. 3.

Таблица 3. Примеры контроля электрооборудования с помощью тепловизора [9]



Нагрев бака масляного выключателя 110 кВ (снимок сделан тепловизором ТН-7102)



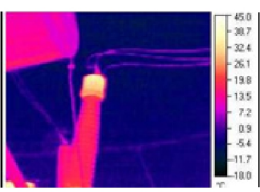
Засорение трансформаторного фильтра (снимок сделан тепловизором ТН-5104)



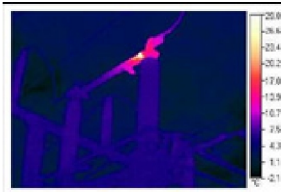
Дефект опорного изолятора (снимок сделан тепловизором ТН-5104)



Дефектные контакты на масляном выключателе 35 кВ (снимок сделан тепловизором ТН-5104)



Повышенный нагрев оголовка ввода трансформатора (снимок сделан тепловизором ТН-5104)



Нагрев контакта на разъединителе (снимок сделан тепловизором ТН-7102)



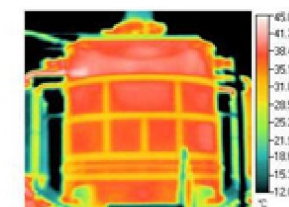
Нагрев контакта на предохранителе (снимок сделан тепловизором ТН-7102)



Дефектная (холодная) секция разрядника (снимок сделан тепловизором ТН-5104)



Внутренний нагрев в нижней части бака реактора (снимок сделан тепловизором ТН-5104)



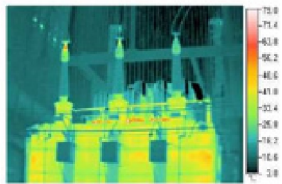
Нагрев верхней части бака реактора (снимок сделан тепловизором ТН-5104)



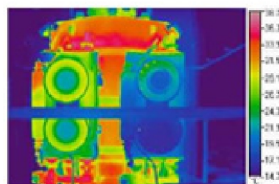
Контроль качества статора генератора (снимок сделан тепловизором ТН-5104)



Нагрев болтов крепления и внутренние локальные нагревы бака трансформатора



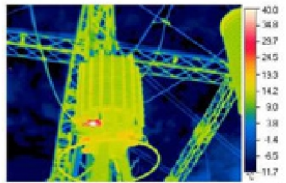
Нагрев контакта на вводе трансформатора (снимок сделан тепловизором ТН-7102)



Неисправность системы охлаждения трансформатора (снимок сделан тепловизором ТН-5104)



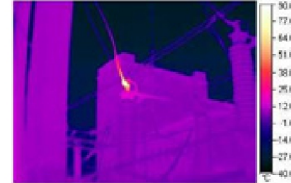
Контроль уровня масла по тепловой картине (снимок сделан тепловизором ТН-5104)



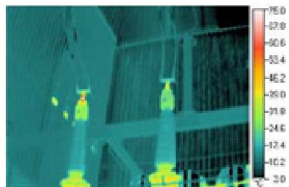
Нагрев контакта ВЧ заградителя (снимок сделан тепловизором ТН-7102)



Нагрев контакта ВЧ заградителя (снимок сделан тепловизором ТН-7102)



Нагрев контакта на разъединителе (снимок сделан тепловизором ТН-7102))



Нагрев контакта на вводе трансформатора (снимок сделан тепловизором ТН-7102)



Нагрев контакта на вводе трансформатора (снимок сделан тепловизором ТН-7102)

Большие возможности тепловизоры продемонстрировали и при контроле процесса производства различных изделий [9]. На рис. 25 показаны температурные поля пластиковой пленки. В процессе продувки пластик выталкивается из кольцеобразного штампа, вставленного в выталкиватель, затем продувается воздушным потоком и затвердевает при охлаждении. Охлаждаемая пленка сматывается на ролик без удаления воздуха. Затем пленка разделяется на две части для изготовления двух одиночных пленок или не разделяется – например при изготовлении сумок. От распределения температур на пленке, находящейся в состоя-

нии растяжения, во многом зависит ее толщина и прочность. Однако, поскольку толщина пленки обычно невелика, для измерения ее температуры обычный контактный метод неприемлем. Тепловизор позволяет успешно решить эту проблему, т.к. он может проводить измерения распределения температур по всей поверхности пленки.

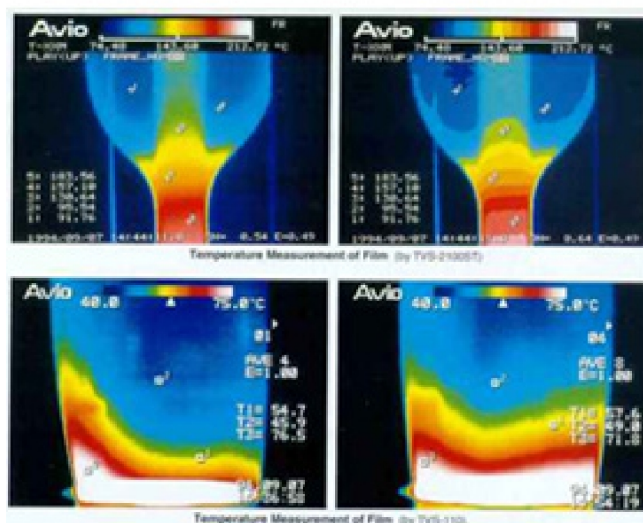


Рис. 25. Температурные поля в процессе производства пластиковой пленки

7 РАБОТА С ТЕПЛОВИЗОРОМ «ИРТИС»

7.1 Технические характеристики и меры безопасности при работе с прибором

Принципы работы с тепловизором и последовательность выполнения работ рассмотрим на примере работы с портативным компьютерным термографом ИРТИС-2000NB, ИРТИС-2000NH (далее для простоты - термограф) [10].

Термограф предназначен для визуализации тепловых полей различных объектов контроля с дальнейшей их регистрацией и компьютерной обработкой. Он обеспечивает измерение мощности электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне длин волн и предназначен для использования на предприятиях энергетики, строительства, машино-

строения, радиоэлектронной, авиационной промышленности и ряда других отраслей. Условия эксплуатации термографа могут быть лабораторными или полевыми. Диапазон его рабочих температур от -40° до $+60^{\circ}\text{C}$. Влажность не более 85%.

Технические характеристики прибора

Диапазон измеряемых температур	от -40 до $+1700^{\circ}\text{C}$
Поле обзора	25×20 град
Мгновенный угол зрения	2×2 мрад
Температурное разрешение	$0,05^{\circ}\text{C}$
Погрешность измерения абсолютных температур по АЧТ	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ или $\pm 2\%$ от измеряемого диапазона
Время формирования кадра	0.8, 1.6, 3.2с. (переключаемые)
Время автономного режима работы	5 ч
Потребление электроэнергии ИК-камерой (от аккумуляторов 6В)	1,8 Вт
Вес ИК- камеры	1,8 кг
Габариты ИК-камеры	$92 \times 120 \times 200$ мм

Термограф состоит из ИК-приемной камеры; процессора для визуализации и записи программного обеспечения. Комплект аксессуаров включает в себя: аккумуляторы; зарядное устройство; комплект соединительных кабелей; сумку для переноски ИК-приемной камеры; штатив и воронки для заливки азота.

ВНИМАНИЕ! При работе с термографом необходимо соблюдать следующие меры безопасности:

1) При работе от сети переменного тока напряжением 220В, частотой 50Гц необходимо соблюдать правила техники безопасности, установленные для аппаратуры с аналогичным питанием;

2) При заливке жидкого азота в сосуд Дьюара приемника ИК-излучения необходимо не допускать попадания капель на кожу рук, лица и на одежду, контактирующую с телом человека.

7.2 Подготовка тепловизора к работе

При подготовке тепловизора к работе необходимо выполнить следующие действия:

1. ИК-приемную камеру (1) подключить кабелем (6) к принтерному порту процессорного блока (3). Разъем подключения (4) (рис. 26, 27, 28).

2. Для работы в автономном режиме аккумулятор (8) вставить в гнездо, расположенное на задней панели ИК- приемной камеры (напряжение аккумулятора без нагрузки должно быть не менее 6.5 В).

3. Перед заливкой жидкого азота необходимо открыть крышку над заливочным отверстием (4) ИК-приемной камеры поворотом ее в любую сторону и перевернуть камеру горловиной вниз, чтобы убедиться в отсутствии влаги в Дьюаре ИК-приемника.

4. Залить жидкий азот в сосуд Дьюара приемника ИК-излучения через заливочное отверстие (4) с помощью специальной воронки из комплекта поставки. Чтобы избежать попадания грязи, льдинок и других посторонних частиц в Дьюар приемника, в воронку нужно положить немного ваты.

5. Включить процессорный блок (3). При необходимости ИК-камеру установить на штатив.



Рис. 26. Общий вид тепловизора



Рис. 27. Основные элементы тепловизора

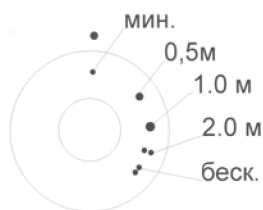


Рис. 28. Ручка фокусировки

7.3 Порядок работы с тепловизором «ИРТИС»

1. Включить тумблер питания (9) на задней панели ИК-приемной камеры. Если загорится зеленый светодиод на индикаторе питания (5) – аккумулятор заряжен, если светодиод загорелся красным светом, то разряжен.

2. Включить процессорный блок.

3. Управление термографом осуществляется с клавиатуры процессорного блока за исключением ручки фокусировки (10), расположенной на правой панели ИК-приемной камеры.

4. Порядок работы с программным обеспечением «NEWIRTIS»:

4.1. Запустить программу **newirtis.exe**.

4.2. Клавишей F5 запустить подпрограмму ввода-вывода тепловизионного изображения.

В этом случае программа выдаст сообщение ("DETECTING A CAMERA") о попытке обнаружить работающую ИК-приемную камеру, подключенную к процессорный блоку через параллельный порт. Если по каким-то причинам (нет соединения, закончился аккумулятор, выключена камера) процессорный блок не сможет соединиться с камерой, поступит сообщение о невозможности сканирования ("NO CAMERA DETECTED"). В противном случае на панели вывода термограмм каждые две секунды будет выводиться термоизображение получаемое от камеры.

Перед сканированием, нажав клавишу «.», можно установить необходимые параметры для выводимого изображения (фильма): число кадров фильма; программное суммирование кадров; промежуток времени между кадрами в сек; директория для записи файла; основа имени данных или имя с точкой.

4.3. ИК-приемную камеру навести на объект и ручкой фокусировки добиться четкого изображения на экране. На экране процессорного блока выводится текущее тепловизионное изображение.

Управление камерой осуществляется с клавиатуры процессорного блока и позволяет настроить необходимый диапазон температур сканирования. Это производится либо вручную нажатием клавиш **"Вправо"**, **"Влево"** (расширение -сужение температурного диапазона) и **"Вверх"**, **"Вниз"** (сдвиг текущего диапазона), либо нажатием клавиши **"Tab"** или F8, что позволяет за два кадра настроиться на минимум и максимум попавших в поле зрения камеры температур.

Возможно задание диапазона сканирования вводом нижней и верхней температурных границ диапазона на панели вывода информации с помощью клавиши "Т". После ввода цифровых значений необходимо нажимать **"Enter"**.

Запись полученного изображения на жесткий диск процессорного блока производится нажатием клавиш **"F2"** или **"Alt"+"F2"**. Для записи последовательности получаемых кадров в файл термографического фильма нужно одновременно нажать клавиши **"Alt"+"F"**. При этом на экран будет выводиться номер текущего сканирующегося кадра. Остановка сканирования осуществляется клавишей **"Esc"**. Если до остановки был включен режим записи фильма, то на панели вывода информации появится запрос на ввод информационной строки, а после окончания ввода и нажатия клавиши **"Enter"** - имя записываемого файла, номер которого автоматически отслеживается программой. Нажав клавишу **"Enter"** второй раз, получаем на жестком диске файл термографического фильма, имя которого будет выведено на панели файлов. Продолжение сканирования осуществляется нажатием на клавишу **"F5"**.

В режиме сканирования также предусмотрено измерение температуры в точке, выделение на термоизображении прямоугольной зоны и замер максимальной, минимальной и средней температуры в ней, а также приближение нужного участка изображения и сканирование в приближенном режиме. Подробное описание этих действий содержится в разделах, посвященных работе с термоизображениями и температурными измерениями.

Для остановки сканирования и входа в режим обработки термограмм надо нажать клавишу "Esc" или "Space".

4.4. Пакет программного обеспечения позволяет проводить следующую математическую обработку: измерение температуры в нескольких точках для одной термограммы или для нескольких (до четырех) одновременно; сглаживание, контрастирование, нормализацию полученного изображения; построение термопрофиля вдоль прямой, направленной под любым углом; построение изотерм; построение графика изменения температуры в точке в зависимости от времени (для фильма); монтаж изображения; запись и чтение РСХ форматов; создание базы данных из записанных файлов; выбор различных цветовых палитр.

4.5. После окончания работы надо выйти из программы с помощью команды "Alt +X".

5. Выключить питание ИК-приемной камеры. Расстыковать все разъёмные соединения в последовательности, обратной подключению. Соблюдая меры предосторожности, вылить оставшийся азот из ИК-приемной камеры (необязательно).

7.4 Руководство по работе с инфракрасной камерой «Иртис»

ВНИМАНИЕ! При работе с камерой «ИРТИС» необходимо соблюдать следующие правила ее безопасной эксплуатации [11]:

- 1. Не ронять ИК – камеру и не подвергать ее ударам.**
- 2. Не ставить на ИК-камеру тяжелых предметов и предметов с острыми краями.**

3. Не заливать в ИК - камеру жидкостей, отличных от жидкого азота.
4. После заливки жидкого азота использовать только штатную крышку.
5. Не переворачивать ИК - камеру с залитым жидким азотом приёмником.
6. При необходимости съёмки объектов под большими углами заливать жидкий азот не более чем на половину объёма приёмника.
7. Не реже одного раза в 6 месяцев сливать остатки жидкого азота из сосуда и полностью отогревать его до сухого состояния.
8. Не помещать в сосуд с азотом посторонних предметов.
9. Использовать только предназначенные для данного типа ИК - камеры аккумуляторные батареи.
10. Не производить самостоятельно сервисное обслуживание ИК – камеры.

7.4.1 Установка драйверов камеры

В поставляемой изготовителем ИК-камере «ИРТИС» драйверы в компьютер уже установлены. Если возникла необходимость установки или переустановки драйверов, необходимо выполнить следующие операции:

1. Подсоединить к ноутбуку дисковод, входящий в комплект поставки – рис. 29 (для обычного компьютера данная операция не производится) .



Рис. 29.

2. Вставить дискету с драйверами (входит в комплект поставки) в

дисковод (для стационарного компьютера при наличии на нем CD-привода, можно воспользоваться CD-диском, входящим в комплект поставки).

3. Перепишите с дискеты (лазерного диска) папки NewIrtis и Irtis на жесткий диск ноутбука (стационарного компьютера).

7.4.2 Подготовка к съемке

Перед работой ознакомьтесь с Правилами безопасной эксплуатации ПК - камеры (см. Приложение №1).

Перед съемкой необходимо выполнить следующие операции:

1. Подготовить ИК-камеру:

Надеть ремни крепления с ручкой на камеру (рис. 30).



Рис.30

Прикрутить планку для крепления штатива (рис. 31).



Рис. 31

Повернуть задвижку крышки камеры на 180°, влево или вправо (рис. 32), и убедиться в отсутствии влаги внутри приемника ИК-камеры, перевернув ее вверх дном.



Рис. 32

Вставить воронку в горловину приемника (предварительно вложив кусочек ваты в носик воронки изнутри) и налить азот в воронку на 1/3. Выждав 30 секунд, пока приемник заохлодит (из приемника перестает выходить охлажденный воздух), долить азот до заполнения приемника (рис. 33) .



Рис. 33

Проверить заряд аккумуляторной батареи (измерив напряжение на аккумуляторе с помощью тестера, входящего в комплект поставки и установив переключатель на тестере в режим измерения постоянного напряжения (DCV) до 20 вольт)). Нормальное напряжение – в интервале 6,5...6,7 В, при меньшем необходимо поставить аккумулятор на подзарядку. Установить аккумулятор на камеру (рис. 34), прижав его к задней стенке ИК - камеры контактной группой (рис. 35) вверх, и задвинуть его влево до упора.



Рис. 34

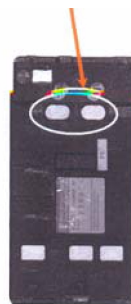


Рис. 35

2. Подготовить ноутбук.

Проверить заряд аккумуляторной батареи одним из двух способов. Первый способ заключается в следующем. Вставив аккумуляторную батарею в ноутбук (рис. 36), проверить, что защелка закрылась.



Рис. 36

Подключить адаптер питания от сети переменного тока 220 В к ноутбуку.



Посмотреть на цвет индикатора батареи на передней панели в левом углу (зеленый цвет - аккумулятор заряжен, оранжевый - идет зарядка (рис. 37)).



Рис. 37

Проверка вторым способом осуществляется следующим образом.

Вставить аккумуляторную батарею в компьютер и включить его. Выбрать загрузку под DOS и запустить программу NewIrtis. Нажать клавишу «В» (латинскую), после чего в верхнем правом углу будет показан заряд батареи в %.

Далее необходимо проверить наличие программ NewIrtis и Irtis на жестком диске ноутбука. При их отсутствии выполнить установку драйверов, как описано выше. Затем выполнить проверку соединительных кабелей. Во избежание вывода из строя LPT порта компьютера, камера должна быть выключена. Соединив кабелем камеру с ноутбуком (рис. 38), запустить программу NewIrtis или Irtis и включить камеру.



Рис. 38

Запустить сканирование клавишей F5. Если программа выдаст ошибку сканирования (NO CAMERA DETECTED), надо проверить качество соединения камеры с ноутбуком или заменить соединительный кабель.

7.4.3 Съемка

Надежно установить камеру на штатив (рис. 39)/ Для проверки установки взять ИК-камеру с укрепленным штативом за ручку и приподнять на 2 - 10см от поверхности.



Рис. 39

Одеть на себя ноутбук (рис. 40), и соединить камеру с ноутбуком кабелем. Включить ноутбук, нажав кнопку питания. Загрузить DOS и программу Newirtis.



Рис. 40

Затем включить камеру и запустить сканирование клавишей F5. Направить ИК-камеру на объект съемки и скомпоновать кадр с помощью

ЖК-дисплея ноутбука. Используя ручку фокусировки, необходимо добиться, чтобы объект имел максимально четкие границы (рис. 41).



Рис. 41

Выставить температурный диапазон съемки одним из четырех возможных способов.

1. Использование автонастройки. Убедитесь, что в левом углу информационной строки написано AVTO: ON (если написано OFF- нажмите клавишу F8). Программа автоматически выставит температурный диапазон по максимуму, минимуму в кадре.

2. При включенной автонастройке выделить зону на объекте съемки. Программа автоматически настроит температурный диапазон по максимуму, минимуму в зоне.

3. Ввести температурный диапазон вручную (температура в °C). Нажать клавишу «Т» латинскую. Ввести нижнюю границу температурного диапазона в строке информации и нажать клавишу «Enter». Ввести верхнюю границу температурного диапазона в строке информации и нажать клавишу «Enter».

Автонастройка температуры выключается автоматически.

4. Отключить автонастройку клавишей F8 и выставить температурный диапазон, используя клавиши: «вправо» или «влево» - чувствительность камеры, «вверх» или «вниз» - смещение температурного диапазона.

Не двигая камеру, запишите изображение.

- При нажатии клавиши F2 термограмма сохраняется на диск «С» в папку «DATABASE». Там создается папка «Месяц-Дата-Год», в которой термограмма хранится с именем «час-минута-секунда». Например: если сохранить термограмму 28 ноября 2007 года в 13 часов 20 минут

30 секунд, то файл будет иметь имя «13_20_30.dtv» и находиться в папке «11-28-07».

- Для создания комментария к термограмме, нажмите Alt+F2.

a) Введите информацию (на русском языке - нажав правый Shift, текст вводите с удержанием левого Shift'a, или просто нажав Caps Lock).

b) Нажмите клавишу «Enter».

c) Введите имя файла (лучше то, которое предлагает программа).

d) Нажмите клавишу «Enter».

Термограмма сохраняется в открытую директорию или на текущий диск с именем IRT «номер кадра».

Для изменения базового имени файла необходимо:

- Нажать клавишу «.» (точка) для выхода в дополнительное меню
- Выбрать четвертую строку - «NAME BASE» (по умолчанию IRT).
- Нажать клавишу «Enter».
- Изменить имя и вновь нажать «Enter».
- Для выхода из меню нажать клавишу «Esc».

Если при сохранении термограммы на жестком диске отсутствует свободное место, то на ЖК-дисплее появляется надпись «»(нет места на жестком диске), и записи термограммы не происходит. При этом необходимо удалить несколько снимков, чтобы освободить место для новых.

Удаление термограмм производится комбинацией клавиш Alt+Delete в программе.

Запись термографического фильма проводится следующим образом. Сканирование надо остановить клавишей «Esc» или пробелом. Для выхода в дополнительное меню использовать клавишу «.» (точка).

- Выбрать первую строку «FILM FRAMES».
- Нажать клавишу «Enter».
- Ввести количество кадров в фильме. Максимальное значение

кадров 9999 (устанавливается по умолчанию).

- Нажать клавишу «Enter».
- Выбрать третью строку «FRAME TIME».
- нажать клавишу «Enter».
- Выставьте интервал времени между кадрами. 0 - будет записываться каждый кадр, 10 - будут записываться кадры в фильм каждые 10 сек. Максимальное значение 9999 сек.
- Нажмите клавишу «Enter», для выхода из меню нажмите клавишу «Esc».

Описанными выше способами выставьте необходимый для съемки температурный диапазон и запустите сканирование клавишей F5. Так как при записи фильма автонастройка отключается автоматически, то при изменении температуры объекта может произойти выход температуры объекта за границы диапазона.

Для начала записи фильма нажмите клавиши Alt+F. Для остановки записи необходимо нажать клавишу «Esc». Автоматическая остановка происходит при записи выставленного количества кадров. При отсутствии места на диске – сохраняется столько кадров, на сколько хватает места.

Для улучшения геометрического и температурного разрешения ИК - камеры (если оно недостаточно в обычном режиме сканирования), используется **съемка с суммацией**.

- Сканирование остановить клавишами «Esc» или пробел.
- Нажать клавишу «.» (точка) для выхода в дополнительное меню.
- Выбрать вторую строку – «FRAME SUMM» и нажать «Enter».
- Выставить количество суммируемых кадров, нажать «Enter».
- Выйти из дополнительного меню клавишей «Esc».
- Запустить сканирование клавишей F5.
- Нажать клавиши Alt+F7.

После суммации программа автоматически остановит сканирование, и выведет результирующий кадр на экран. Файл необходимо сохранить клавишами F2 или alt+F2.

Может быть использована съемка с разными скоростями.

Для нее, запустив сканирование клавишей F5, клавишами F9, F10, F11 и F12 устанавливают скорость съемки. F9 – скорость сканирования камеры возрастает в два раза (**режим «быстрой съемки»**). F10 – стандартная скорость сканирования (**режим «стандартной съемки»**). F11 – камера сканирует с скоростью в два раза меньшей (**режим «высокого разрешения»**), количество строк возрастает в два раза). F12 - остановка кадровой развертки камеры (**режим «остановленной развертки»**, предназначенный для съемки с воздуха).

Может использоваться съемка с лазерным целеуказателем.

Для включения лазерного целеуказателя необходимо запустить сканирование клавишей F5. Затем нажать клавишу F1, после чего на объекте съемки появится мигающая точка красного цвета.

Для выключения лазерного целеуказателя – нажать клавишу F1 или остановить сканирование клавишами «Esc» или пробел.

ВНИМАНИЕ: При включённом лазерном целеуказателе запрещается направлять камеру на людей.

После выполнения съемки необходимо отключить камеру.

- Сканирование остановить клавишами «Esc» или пробел.
- Выключить камеру и выйти из программы, нажав клавиши Alt+X.
- Выключить компьютер и отсоединить кабель.

7.4.4 Передача данных с камеры

Для перекачки данных с камеры необходимо:

1. Включить ноутбук.
2. Вставить карту памяти в адаптер CF Adapter (рис. 42).



Рис. 42

3. При загрузке в системе DOS.

- Вставить адаптер с картой памяти в любой из PCMCIA слотов ноутбука (рис. 43).



Рис. 43

- Перейти на карту памяти клавишами Alt+(F1 или F2).
 - Выбрать имя диска, на котором находится карта памяти.
 - Скопировать на карту памяти нужную информацию.
4. При загрузке в Windows:
- Вставить адаптер с картой памяти в PCMCIA слот ноутбука.
 - Скопировать данные на карту памяти.
 - Извлечь карту памяти из ноутбука.
 - Вставить карту памяти в картридер, присоединенный к USB порту стационарного компьютера (рис. 44), и скопировать информацию с карты на жесткий диск компьютера.



Рис. 44

7.4.5 Возможные варианты съемки

Для съемки с высоким разрешением используется **съемка со штатива** (рис. 45).



Рис. 45. Съёмка ИК – камерой, закреплённой на штативе

Съёмка из под руки используется для обычной съёмки и съёмки с высоким разрешением. Метод обеспечивает стабильность фокусировки за счет плотного прижимания ИК - камеры к телу и ее страховки сбруей. Метод также удобен при передвижениях от объекта к объекту (рис.46).



Рис. 46. Съёмка из-подруки

Съёмка с руки используется для съёмки труднодоступных объектов, хотя при такой съёмке термограмма высокого разрешения, может не получиться).



Съемка сверху на штативе предназначена для съемки высоко расположенных объектов.



Съемка под большими углами (рис. 47) должна осуществляться с приемником камеры, залитым не более, чем на половину.



Рис. 47. Съемка под большими углами

7.4.6 Работа в программном пакете IRPREVIEW

7.4.6.1 Инсталляция и запуск программы

Программа **IRPREVIEW** является неотъемлемой частью ИК-системы ИРТИС и предназначена для обработки термограмм в формате *.DTV в среде WINDOS v9/2000/XP. Версия данного пакета программ входит в стандартный комплект поставки тепловизионной системы [12].

Для инсталляции пакета программ **IRPREVIEW** нужно скопировать с оригинальной дискеты в отдельную директорию на жестком диске файл `irpreview.exe` и запустить его. Эта директория может находиться на любом диске компьютера и иметь произвольное название (например "IRPREV").

После выполнения этих операций файлы с расширением «*.dtv» (получаемые при работе с ИК-камерами ИРТИС) будут отображаться в среде Windows специальной иконкой, рис. 48. Это позволит двойным нажатием левой клавиши мыши открыть файлы.



Рис. 48. Иконка для файлов ИК-камеры

7.4.6.2 Обработка в программе IRPREVIEW

Двойным нажатием левой клавиши открываем файл термограмм, (рис. 49).

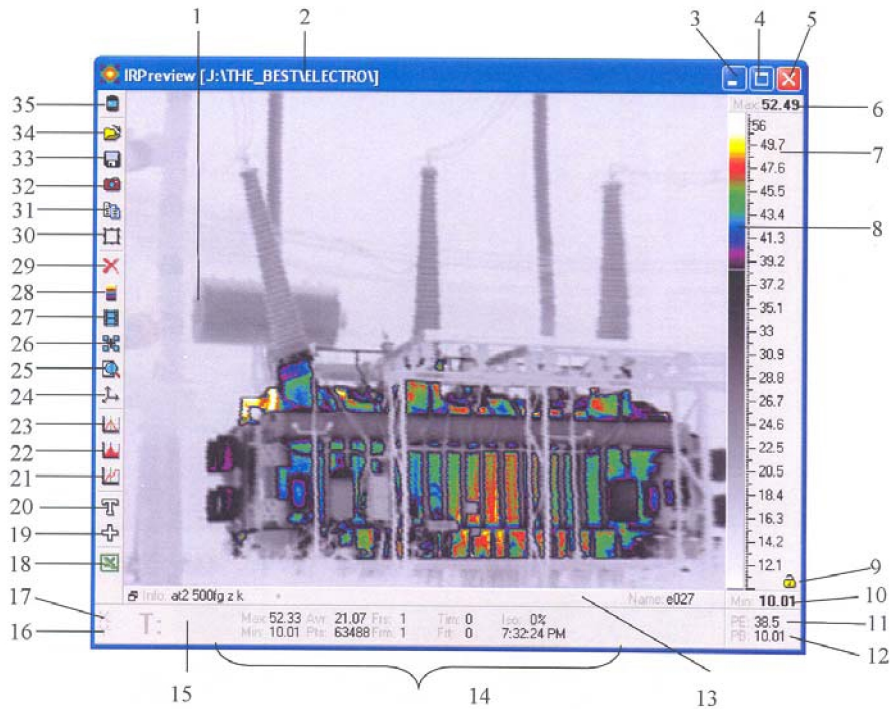


Рис. 49. Файл термограмм

На рисунке 49 цифрами обозначены следующие позиции кнопок управления и функции: 1 - термограмма, 2 - место нахождения термограммы на компьютере (рабочая директория), 3 - свернуть окно, 4 - растянуть окно на весь экран, 5 - закрыть окно, 6 - максимальная температура в кадре, 7 - шкала температур, 8 – палитра, 9 - фиксирование температурного диапазона, 10 - минимальная температура в кадре, 11 - значение температуры верхней границы изотермы, 12 - значение температуры нижней границы изотермы, 13 - слева информация справа имя открытой термограммы, 14 - информационная панель, 15 - температура в точке (курсор мышки), 16 - координата курсора мышки по оси Y, 17 - координата курсора мышки по оси X, 18 - конвертация файла в электронную таблицу Excel, 19 - копирование значение температур с термограммы для последующего вставления в Word, 20 - размер шрифта, 21-временной график для одной точки, 22- гистограмма (количество точек с одной и той же температурой на термограмме-см. рис. 50);

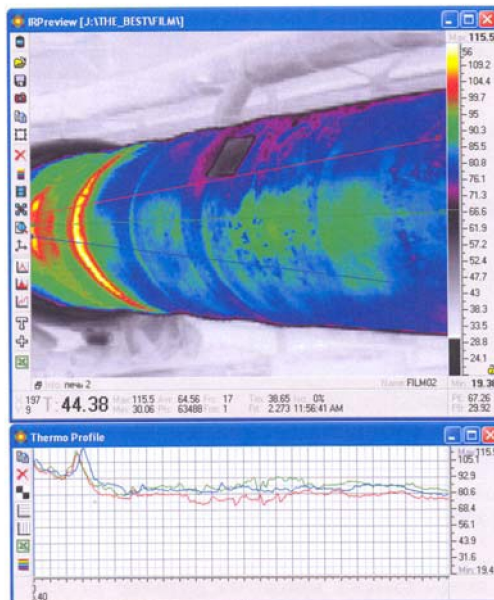


Рис. 50. Пример гистограммы

23 - Построение термопрофилей в любой плоскости с помощью движения мыши с нажатой левой кнопкой. Фиксирование клавишей «Ctrl»; 24- 3-мерное отображение термограмм (см. рис. 51);

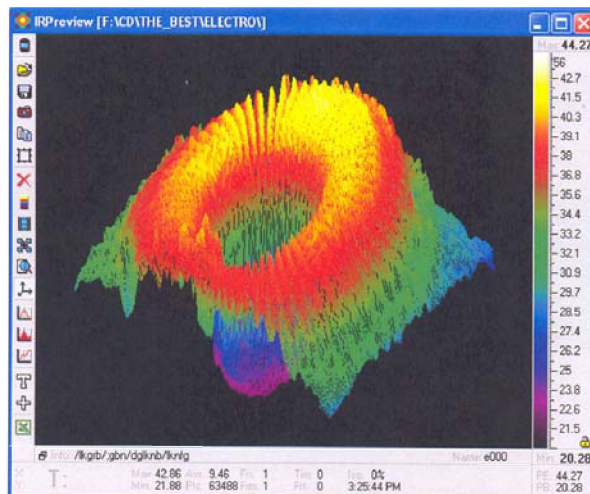


Рис.51. Трехмерное изображение термограммы

В режиме просмотра 3-мерного отображения термограмм координаты X и Y в пространстве соответствуют размерности самого изображения, а координата Z – величине температуры в каждой конкретной точке термограммы. Выбранное для просмотра изображение можно вращать вокруг осей, масштабировать его и дискретизировать. Управление осуществляется кнопками мыши. Для вращения термограммы вокруг оси X необходимо одновременно нажать левую кнопку мыши и двигать мышь вверх - вниз, вокруг оси Y – левую кнопку мыши, двигая мышь влево - вправо. Увеличение или уменьшение масштаба термограммы выполняется одновременным нажатием правой кнопки мыши и передвижением мыши влево - вправо, для уменьшения или увеличения дискретизации нажать правую кнопку мыши и двигать верх - вниз. Выход из режима 3-мерного просмотра производится клавишей "Esc".

25 - приближение фрагмента кадра выделенной зоны (рис. 52);



Рис. 52. Приближение фрагмента выделенной зоны

Приближение можно осуществлять как кнопкой 25 на панели управления, так и подводом курсора мыши в выделенную зону и удерживая "Alt" нажатием на левую кнопку мыши. Возврат к исходному размеру термограммы осуществляется одновременным нажатием кнопки "Alt" на клавиатуре и правой кнопки мыши в области термограмм.

26- выбор выводимого значения температуры в зоне.

а) Аverage - средняя температура; б) Average Min - минимальная температура; в) Average Max - максимальная температура;

- 27 - вызов конкретного кадра фильма - позволяет перейти к любому кадру фильма указав его номер;
- 28 - изменение цвета палитры (1-8 создание собственной палитры);
- 29 - сброс температур (клавишей Backspace последовательное удаление температур)- рис. 53;



Рис.53. Удаление температур

- 30 - выбор сохранения изображения для отчета (Image Only - сохранение только одной термограммы:

 - рис. 54 а, Image+Scale - сохранение термограммы со шкалой температур;
 - рис. 54 б, также возможно - сохранение термограммы со шкалой температур и информацией о кадре (левый верхний угол: Name, Info, Date, Time) - Image+Scale+Info;

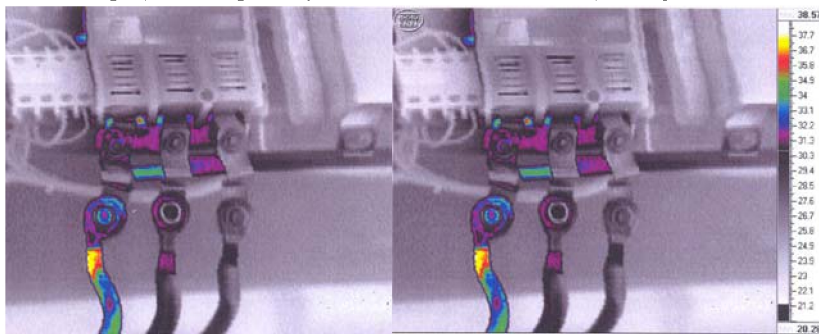


Рис. 54. Сохранение термограммы для отчета

- 31 - сохранение изображения выбранного в буфер обмена Windows; 32- сохранение изображения в файл с расширением *.bmp; 33- сохранение изображения в файл с расширением *.dvt; 34- открытие термограммы; 35- запустить сканирование F5.

7.4.6.3 Подготовка термограммы к распечатке

1. Открыть термограмму двойным нажатием левой клавиши мыши на файле в среде Windows. Если программа уже запущена воспользоваться кнопкой «Open», пункт 34 (см. выше).

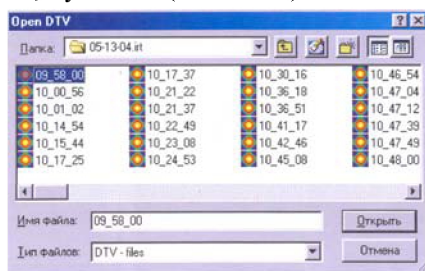


Рис. 55. Выбор термограммы

После открытия окна выбрать необходимый файл (рис. 55) и нажать кнопку «Открыть». Переход между термограммами осуществляется клавишами **PgUP** и **PgDN** или вращением скроллера на мыши вперед-назад.

2. Подобрать цветовую интерпретацию термограммы нажав на кнопку выбора палитры (пункт 28) - рис. 49.

- RGB, клавиша «1»;
- Hot Metal, клавиша «2»;
- Hot Blue, клавиша «3»;
- Gray, клавиша «4»;
- Rainbow 1 клавиша «5»;
- High Lilac клавиша «6»;
- Rainbow2 клавиша «7»;
- CMY клавиша «8»;
- Other... (возможность создать свою палитру);
- инвертировать палитру клавиша «9».

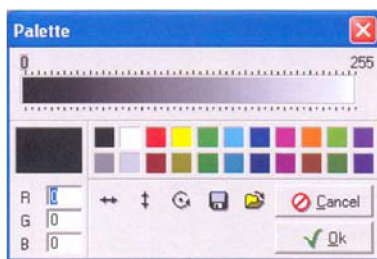


Рис. 56. Выбор цветовой палитры

3. Выбрать одну из набора палитр, например Rainbow2, клавиша «7».

4. Подчеркнуть интересующую область на термограмме, выделив ее стандартной (прямоугольной) зоной, «левая клавиша мыши», или произвольной зоной, « Alt+левая клавиша мыши» (рис. 57). Убрать зону можно один раз, нажав левую клавишу мыши вне зоны.

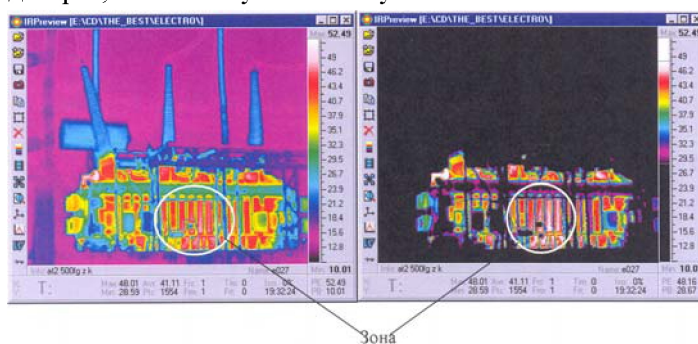
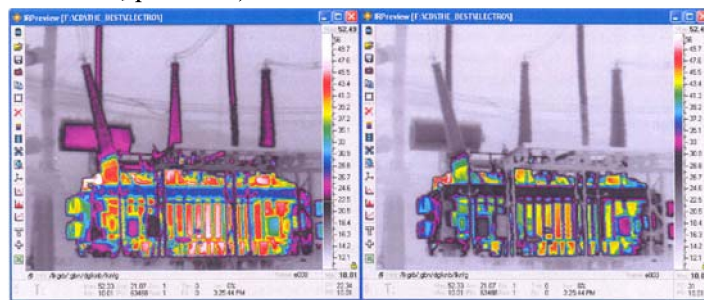


Рис. 57. Выбор зоны

5. Подчеркнуть перепады в выделенной зоне или во всем кадре (если зона не выделена) можно, нажав клавишу пробел. Программа сожмет палитру по максимальному и минимальному значению температур в зоне или кадре. Для возврата палитры (диапазона) в исходное состояние необходимо нажать клавишу «Q».

6. Подключение дополнительной палитры (ИЗОТЕРМЫ) можно выполнить клавишей «I». Появится дополнительная палитра - инвертированная «Грау», ее можно менять, используя клавиши управления основной палитры. С помощью кнопки палитры пункт 28, клавиш «1-8» можно выбирать палитру. С помощью клавиш «A» и «Z» можно пере-

мещать всю палитру вверх или вниз, клавишами «S» и «X» можно двигать верхнюю границу палитры вверх или вниз. Необходимо совместить границы палитр, чтобы черный цвет переходил в черный, рис. 58 а, или белый в белый, рис. 58б).



а) б)

Рис. 58. Совмещение палитр

7. Расставить температуры на термограмме – рис. 59.

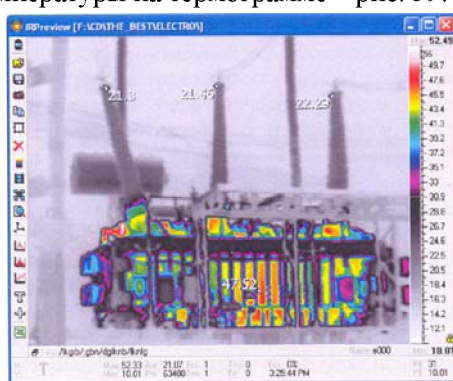


Рис. 59. Расстановка температур на термограмме

При движении мыши по полю термограммы на информационной панели 14, находящейся внизу экрана под изображением, отображается значение температуры "Т:" в °С в точке позиционирования мыши. Там же отображены реальные горизонтальные и вертикальные координаты положения мыши на термограмме "Х:" и "Y:".

Зафиксировать значение температуры в конкретной точке на термограмме можно нажатием правой кнопки мыши. На термограмме при

этом появится маркер, указывающий на выбранную точку и температуру в этой точке в градусах Цельсия. Количество точек, температурные значения которых могут быть одновременно выведены на термограмме, не ограничено. Также можно измерить значения максимальной, минимальной и средней температуры в произвольной области изображения (зоне), представляющей собой прямоугольник. Чтобы определить положение и размеры зоны, надо изменить положение мыши на термограмме, удерживая при этом ее левую кнопку. Точка, в которой была нажата левая кнопка мыши, станет углом прямоугольной зоны, диагонально противоположным углом которой станет точка, в которой левая кнопка мыши будет отпущена. После формирования зоны на панели под термограммой появятся значения максимальной -"MAX", минимальной -"MIN:" и средней- "AVR:" температуры, а также количества точек "PTS:", попавших в нее.

Изменить положение зоны на изображении, не меняя ее размеров, можно нажатием левой кнопки внутри прямоугольника и удерживая ее двигая мышью в нужном направлении. При отпуске мыши зафиксируется новое положение прямоугольной области, а значения температур в зоне на нижней панели – обновятся. Чтобы оставить область на термограмме с выводом на экран среднего значения температуры в ней, необходимо нажать внутри прямоугольной зоны на правую кнопку мыши. При этом появляется возможность строить следующую область в новом месте или перемещать уже существующую, оставив при этом ее отображение на прежнем месте. Чтобы убрать с экрана выделенную область, достаточно щелкнуть левой кнопкой мыши по термограмме вне выделенной зоны. Температурные значения на нижней панели при этом будут соответствовать максимальной, минимальной и средней температуре и количеству точек во всем текущем кадре термограммы.

Очистка изображения от выставленных на нем точек и зон с температурными значениями производится одновременным нажатием клавиши "Alt" и правой кнопки мыши на термограмме или кнопкой 29.

Если загруженный в программу файл является термографическим фильмом, то смена кадров может быть реализована клавишами **"Влево"**, **"Вправо"**. Общее количество кадров в фильме и номер текущего кадра отображаются на нижней панели под термограммой. Для запуска режима автоматического покадрового просмотра фильма нажимаются эти же клавиши, но с удерживаемой кнопкой **"Alt"**.

Повернуть термограмму вокруг горизонтальной или вертикальной оси можно соответственно нажатием клавиш **"Alt"+"H"** и **"Alt"+"V"**.

Применение к термограмме графических фильтров позволяет повысить контрастность, сделать более четкими резкие перепады температур или подчеркнуть малейшие изменения по полю изображения. Фильтр контрастирования (SHARP) накладывается нажатием клавиши **"F3"**. Клавиши **"Alt"+"F3"** служат для наложения фильтра сглаживания (SMOOTH).

Дальнейшая обработка термограммы возможна с использованием всех возможностей данного программного обеспечения, описанных выше.

8. Загрузить обработанную термограмму в буфер с помощью кнопки 31 на панели инструментов или набором клавиш «Ctrl+Ins», или «Ctrl+C»

9. Открыть приложение Windows (например: Microsoft Word), с помощью которого будет выполняться распечатка. Используя команды данного приложения, вставить термограмму из буфера в нужное место или набором клавиш «Shift+Ins», или «Ctrl+V».

10. Распечатать полученный документ.

7.4.7 Программный пакет NewIRTIS

Общий вид меню работы с пакетом представлен на рис. 60.

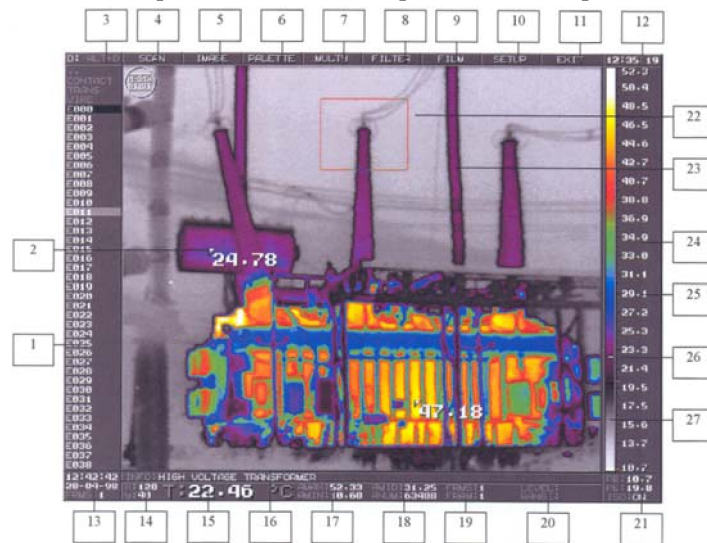


Рис. 60. Меню работы с пакетом NewIRTIS

- | | |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1. Панель файлов и дисков | 16. Строка информации файла |
| 2. Температура в точке | 17. Максимальная и минимальная температура в зоне / кадре |
| 3. Панель смены диска | 18. Средняя температура в зоне / кадре, количество точек в зоне |
| 4. Пункт меню «сканирование» | 19. Количество кадров в загруженном файле, текущий кадр |
| 5. Пункт меню «изображение» | 20. Уровень и диапазон сканирования |
| 6. Пункт меню «палитра» | 21. Температурные значения начала и конца палитры / изотермы |
| 7. Пункт меню «мультиэкран» | 22. Зона на термоизображении |
| 8. Пункт меню «фильтр» | 23. Термографическое изображение |
| 9. Пункт меню «фильм» | 24. Панель палитр |
| 10. Пункт меню «установки» | 25. Основная палитра |
| 11. Пункт меню «выход» | 26. Отметка температуры в точке, отмеченной мышью |
| 12. Панель текущего времени, даты и заряда батарей | 27. Изотерма |
| 13. Время и дата создания файла, количество кадров в файле | |
| 14. Координаты положения мыши на термоизображении | |
| 15. Температура в точке | |

7.4.7.1 Инсталляция и запуск программы

Программа NewIRTIS является частью ИК-системы ИРТИС и предназначена для поддержки связи компьютера с тепловизионной камерой ИРТИС, а также для получения, хранения и обработки термограмм. DOS версия данного пакета программ входит в стандартный комплект поставки тепловизионной системы и обеспечивает полную программную поддержку ИК-системы [13].

Для инсталляции пакета программ NewIRTIS нужно скопировать с оригинальной дискеты в отдельную директорию на жестком диске весь набор файлов. Эта директория может находиться на любом диске компьютера и иметь произвольное название (например "NEWIRTIS"). Стандартное расположение программы: C:\NEWIRTIS\newirtis.exe. Также в директории NEWIRTIS содержится файл инициализации программы - newirtis.ini и директория "\PALETTE" в которой находятся файлы описания палитр, используемые программой, и изображение заставки. Для входа в программу производится запуск на выполнение файла newirtis.exe, после чего на экране появляется заставка. Чтобы начать работу, достаточно нажать на клавиатуре любую клавишу или левую кнопку манипулятора "мышь".

Работа с ИК-камерой осуществляется следующим образом. Чтобы начать прием температурных данных с ИК-камеры необходимо войти в режим сканирования, нажав клавишу "F5"(Ctrl+Space) на клавиатуре компьютера. Программа выдаст сообщение ("DETECTING A CAMERA") о попытке обнаружить работающую ИК-камеру, подключенную к компьютеру через параллельный порт, и на панели вывода термограмм каждые две секунды будет выводиться термоизображение, получаемое от камеры.

Если по каким-то причинам (нет соединения, закончился аккумулятор, выключена камера) компьютер не сможет соединиться с камерой, поступит сообщение ("NO CAMERA DETECTED").

Управление камерой осуществляется компьютером и позволяет настроить необходимый диапазон температур сканирования. Это произ-

водится либо вручную нажатием клавиш **"Вправо"**, **"Влево"** (расширение - сужение температурного диапазона) и **"Вверх"**, **"Вниз"** (сдвиг текущего диапазона), либо нажатием клавиши **"Tab"**, что позволяет за два кадра настроиться на минимум и максимум попавших в поле зрения камеры температур. Режим постоянной автонастройки температурного диапазона включается или выключается нажатием клавиши **"F8"**. Индикация на информационной панели **"AUTO ON/OFF"** меняется в зависимости от выбранного режима. Если во время сканирования на термограмме выделена область, то автонастройка производится по минимуму и максимуму температур, попадающих в эту область.

Возможно задание диапазона сканирования вводом нижней и верхней температурных границ диапазона на панели вывода информации 16 клавишей **"T"**. После ввода цифровых значений необходимо нажать **"Enter"**. Перед вводом фиксированного температурного диапазона сканирования необходимо отключить автонастройку.

Режим суммирования кадров позволяет достичь большей чувствительности прибора и применяется при сканировании неподвижных объектов. Включение и выключение режима суммирования производится клавишами **"Alt+F7"**. Для результирующего кадра производится вычисление среднего значения в каждой точке из нескольких последовательных кадров, количество которых задается при настройке параметров сканирования (**"."**).

Запись полученного изображения на жесткий диск компьютера производится нажатием клавиш **"F2"** или **"Alt"+"F2"**. Для записи последовательности получаемых кадров в файл термографического фильма нужно одновременно нажать клавиши **"Alt"+"F"**. При этом на экран будет выводиться номер текущего сканирующегося кадра. Остановка сканирования осуществляется клавишей **"Esc"**. Если до остановки был включен режим записи фильма, то на панели вывода информации появится запрос на ввод информационной строки, а после окончания ввода и нажатия клавиши **"Enter"** - имя записываемого файла, номер которого автоматически отслеживается программой. Нажав клавишу **"Enter"**,

второй раз получаем на жестком диске файл термографического фильма, имя которого немедленно выводится на панели файлов. Продолжение сканирования осуществляется нажатием клавиши "F5".

Возможен ввод реперной точки во время сканирования выделением области на термоизображении с известным значением температуры и нажатием клавиш "Alt"+"R". После ввода известного температурного значения расчет шкалы температур выполняется по реперной точке, без привязки к показаниям встроенного температурного датчика.

В режиме сканирования предусмотрено измерение температуры в точке, выделение на термоизображении прямоугольной зоны и замер максимальной, минимальной и средней температуры в ней, а также приближение нужного участка изображения и сканирование в приближенном режиме. Для остановки сканирования и входа в режим обработки термограмм надо нажать клавишу "Esc" или "Space".

Настроить параметры сканирования, такие как количество кадров в фильме, количество суммируемых кадров, время между кадрами, основа имени записываемого файла, путь для записи PCX файлов и режим сканирования фильма, можно нажав кнопку "." (точка).

7.4.7.2 Работа с файлами

Термографические изображения, полученные с ИК-камеры, хранятся на жестком диске компьютера в виде файлов с расширением .DTV. Они имеют собственный формат и могут быть прочитаны только с помощью специального программного обеспечения.

Для загрузки файлов термографических изображений с жесткого диска компьютера используется панель отображения файлов, директорий и дисков 1. Символами белого цвета на панели показаны имена DTV-файлов, которые можно загрузить в программу. Светло-серый фон под именем файла означает, что это термографический фильм. Директории показаны светло-серыми знаками. Обозначение ".." дает возможность выхода из вложенной директории в предыдущую.

Перемещением маркера (прямоугольник черного цвета с белой рамкой) по панели файлов с помощью клавиш "Вверх" и "Вниз" можно

выбрать необходимый файл или директорию. Клавиша **"Enter"** предназначена для подтверждения загрузки файла в память компьютера или входа в соответствующую директорию. Загружаемое термоизображение немедленно отображается на экране 23. Для перемещения по панели файлов также можно использовать клавиши **"PgUp"** и **"PgDn"**, которые позволяют быстро изменять положение и клавиши **"Home"** и **"End"** для перемещения маркера сразу в начало или в конец списка файлов и директорий. Дата и время создания, а также количество кадров в текущем файле, отображается под панелью файлов 13.

Более простым способом выбора нужного файла или директории является перемещение маркера с помощью мыши. Нажимая левую кнопку мыши на имени файла, перемещаем маркер в нужную позицию. Для загрузки файла или входа в поддиректорию необходимо повторно нажать левую кнопку мыши на выбранной позиции. Прокрутить список файлов, не уместяющийся в панели файлов, можно удерживая левую кнопку мыши на панели файлов и двигая мышь вверх-вниз. Нажав правую кнопку мыши можно передвинуть маркер в начало списка.

Смена текущего диска, отображенного на панели 3, осуществляется одновременным нажатием клавиш **"Alt"+"D"**, или левой кнопки мыши на панели смены диска. Вместо файлов и директорий на панели файлов появится список доступных дисков. Перемещая маркер, выбираем нужный диск и нажимаем **"Enter"**. На панели файлов появится список файлов и директорий в корневом каталоге выбранного диска. Для отказа от выбора диска надо нажать клавишу **"Esc"** или правую кнопку мыши.

При одновременном нажатии на клавиши **"Alt"+"Вверх"** или **"Alt"+"Вниз"** включается режим последовательного просмотра термоизображений, находящихся в текущей директории. Для выхода из режима последовательного просмотра надо нажать клавишу **"Esc"**.

Создать новую поддиректорию на текущем диске можно, одновременно нажав клавиши **"Alt"+"M"**. На панели информационной строки 16 появится окно для ввода имени создаваемой директории. После его ввода необходимо нажать клавишу **"Enter"**.

Для удаления текущего файла термоизображения надо нажать клавиши **"Alt"+"Del"**. На панели информационной строки будет выведено сообщение об успешном удалении файла с диска, а на панели вывода термоизображения появится изображение палитры, идентичное тому, которое отображается сразу после запуска программы.

Мультитекран 30 удобен для быстрого выбора нужной термограммы из большого списка файлов на жестком диске. Он предназначен для показа на экране компьютера нескольких термографических изображений как из текущей директории, так и из других директорий и дисков. Переход в режим мультитекрана осуществляется нажатием клавиши **"Tab"**. При этом панель вывода термографического изображения 23 делится на определенное количество секций (по умолчанию 4x4), в каждую из которых впоследствии может быть загружено одно термоизображение. Размерность деления на секции может быть изменена нажатием кнопок **"+"** или **"-"**, или правой кнопкой мыши от 2x2 до 6x6. Перемещение маркера (белая рамка вокруг секции) по мультитекрану осуществляется нажатием кнопок **"Влево"**, **"Вправо"**. Загрузить термоизображение из файла можно, выбрав нужную секцию в мультитекране, файл в панели файлов и нажав **"Enter"**. Загружаемая термограмма появится в секции, отмеченной маркером, а в левом верхнем углу секции отобразится имя файла. Также можно сразу загрузить в мультитекран набор термоизображений, одновременно нажав **"Ctrl"+"Enter"**. При этом мультитекран последовательно заполнится термограммами, начиная с позиции маркера на панели файлов и маркера на самом мультитекране. Выбор нужного термоизображения проводят, помещая маркер на секцию, соответствующую этому изображению, и нажатием **"Tab"** или **"Esc"**. Выбранная термограмма отобразится на полном экране. При повторном входе в режим мультитекрана он автоматически заполняется термограммами, загруженными в предыдущий раз.

С помощью мыши вход в мультитекран и набор изображений осуществляется нажатием левой кнопки на панели отображения даты и времени создания файла 13. Перемещение маркера на нужную секцию осуществ-

ствляется нажатием на ней левой кнопки мыши, а выбор изображения-повторным нажатием на секцию, отмеченную маркером.

Клавишами **"Ins"** и **"Del"** можно вставить новую (пустую) секцию в позицию маркера на мультитекране или удалить изображение в текущей секции, одновременно сдвинув влево на одну позицию термоизображения, находящиеся в мультитекране после удаляемого. Одновременное нажатие клавиш **"Alt"+"Del"** позволяет удалить с жесткого диска компьютера файл, соответствующий изображению в мультитекране.

Запись термограмм на жесткий диск компьютера производится двумя способами.

1.Нажатием клавиши **"F2"** - в заранее определенную директорию (**"DATABASE.IRT"**), на диске **"C:"** в поддиректорию, имя которой соответствует текущей дате (**"01-01-99.IRT"**), в файл с расширением **.DTV** с именем, соответствующем текущему времени (**"08-00-59.DTV"**), установленному на системных часах компьютера.

2.Последовательная запись. При одновременном нажатии клавиш **"Alt"+"F2"** на панели информационной строки 16 высветится окно для ввода строки информации **.DTV** файла. Эта строка состоит из 64 символов и может быть заполнена как полностью, так и частично пояснениями к термоизображению. После ввода информации необходимо нажать **"Enter"**. После этого появится окно для ввода имени файла, в котором будет содержаться путь текущей директории, установленной на панели файлов, и имя записываемого файла, состоящее из основы имени (по умолчанию **"IRT"**) и порядкового номера файла (**"IRT001.DTV"**). Порядковый номер файла отслеживается автоматически в зависимости от уже записанных по этой схеме файлов в данной директории. Путь и имя файла можно отредактировать. Подтверждение ввода имени файла выполняется нажатием **"Enter"**. Если путь и имя файла заданы правильно, то появится уведомление об успешной записи файла на диск.

Редактирование информационной строки производится в любое время работы программы и осуществляется нажатием клавиш

"Alt"+"L" или левой кнопки мыши на панели отображения информационной строки.

Сформированное на экране компьютера изображение может быть записано в файл стандартного графического формата с расширением .PCX для последующего просмотра, обработки и печати из большинства графических и текстовых редакторов. Для записи изображения достаточно нажать клавишу "P". На панели информационной строки 16 появится приглашение ввести имя создаваемого PCX файла. Этот ввод имени завершается нажатием "Enter". Графический PCX файл запишется в текущую директорию, высвеченную на панели файлов 1.

При известном коэффициенте излучения объекта на термограмме можно пересчитать температурную шкалу термограммы или значения температуры в определенной области с учетом этого коэффициента.

4.4.7.3 Температурные измерения

При движении мыши по полю термоизображения на панели служебной информации, находящейся внизу экрана отображается значение температуры "T:" в °C (15) в точке позиционирования мыши. Там же можно видеть реальные горизонтальную и вертикальную координаты положения мыши на термоизображении "X:" и "Y:" (14). Величина температурного значения текущей точки дублируется стрелкой 26 на панели палитр и соответствует значению на шкале температур 24.

Значение температуры в конкретной точке на термоизображении 23 фиксируется правой кнопкой мыши. В поле вывода термограммы появляется стрелка, указывающая на выбранную точку, и температура в этой точке, измеренная в градусах Цельсия 2. Количество точек, температурные значения которых могут быть одновременно выведены на термоизображение, не ограничено. Чтобы изменить размер шрифта, которым выводятся значения температур в точках, необходимо в пункте меню "SETUP" выбрать подпункт "LARGE NUMS" -шрифт увеличится вдвое. Для возврата к уменьшенному шрифту выберите в меню пункт "SETUP" и подпункт "SMALL NUMS".

Можно измерить значения максимальной, минимальной и средней температуры в произвольно определенной области изображения (зоне) 22, представляющей собой прямоугольник. Чтобы определить положение и размеры зоны, надо изменить положение мыши на термоизображении, удерживая при этом ее левую кнопку. Точка, в которой было произведено нажатие левой кнопки мыши, является одним углом прямоугольной зоны, а диагонально противоположным углом станет точка, в которой левая кнопка мыши будет отпущена. После формирования зоны, на панели под термоизображением появятся значения максимальной "АМАХ:", минимальной "АМИН:" 17 и средней "АМИД:" 18 температуры, а также количества точек "АNUM:", попавших в нее.

Изменить положение зоны на изображении, не меняя ее размеров, можно, нажав левую кнопку мыши внутри прямоугольника и не отпуская ее, двигать мышь в нужном направлении. При отпуске мыши вновь установленное положение прямоугольной области зафиксируется, и обновятся значения температур в зоне на нижней панели.

Чтобы оставив область на термоизображении, вывести при этом на экран среднее значение температуры в ней, необходимо нажать внутри прямоугольной зоны правую кнопку мыши. При этом появляется возможность строить следующую область в новом месте или перемещать уже существующую, оставив ее отображение на прежнем месте.

Чтобы убрать с экрана выделенную область, надо щелкнуть левой кнопкой мыши по термоизображению вне выделенной зоны. Температурные значения на нижней панели при этом будут соответствовать максимальной, минимальной и средней температуре и количеству точек во всем текущем кадре термоизображения.

Очистка изображения от выставленных на нем точек и зон с температурными значениями производится одновременным нажатием клавиши "Alt" и правой кнопки мыши на термограмме.

7.4.7.4 Работа с термоизображениями

Полученное от инфракрасной камеры или загруженное с жесткого диска термоизображение, может быть обработано с помощью программы. К способам такой обработки относятся приближение, повороты изображения, наложение различных графических фильтров, просмотр в 3-мерном пространстве, совмещения термоизображений, покадровый просмотр и т. д. Все эти функции применяются для более детального рассмотрения как целого термоизображения, так и его части.

Приближение (увеличение) участка термоизображения осуществляется двумя способами.

1. Пошаговое приближение производится нажатием на термоизображении левой кнопки мыши с одновременно удерживаемой на клавиатуре кнопкой **"Alt"** при условии, что на термограмме не обозначена зона. В этом случае изображение пропорционально расширяется и точка, в которой находится указатель мыши, насколько это позволяют границы термограммы, стремится переместиться в центр экрана.

2. Приближение участка изображения, отмеченного прямоугольной областью (зоной). Для этого необходимо обозначить зоной участок для приближения, и удерживая **"Alt"**, нажать на термоизображении левую кнопку мыши.

Возврат к исходному размеру термограммы осуществляется одновременным нажатием кнопки **"Alt"** на клавиатуре компьютера и правой кнопки мыши в области термоизображения.

Функция нормировки палитры, осуществляемая клавишей **"Space"** в состоянии приближенного участка изображения, выбирает минимум и максимум только из видимой зоны, что позволяет быстро отнормировать палитру по некоторой заданной части термограммы.

Если загруженный в программу файл является термографическим фильмом, то смена кадров может быть реализована клавишами **"Влево"**, **"Вправо"**. Общее количество кадров в фильме, и номер текущего кадра отображаются на нижней панели под термоизображением. Чтобы

запустить режим автоматического покадрового просмотра фильма нажимаются эти же клавиши, но с удерживаемой кнопкой "Alt".

Повернуть термоизображение вокруг горизонтальной или вертикальной оси можно соответственно нажатием клавиш "Alt"+"H" и "Alt"+"V". В этом случае получаем зеркальное горизонтальное или вертикальное отображение термограммы.

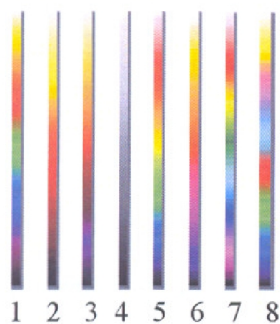
Применение к термоизображению графических фильтров позволяет сгладить его или повысить контрастность, сделать более четкими резкие перепады температур или подчеркнуть малейшие изменения по полю изображения. Фильтр контрастирования накладывается нажатием клавиши "F3" или выбором пункта меню "FILTER", а в нем подпункта "SHARP". Клавиши "Alt"+"F3" служат для наложения фильтра сглаживания. В меню это действие повторено подпунктом "SMOOTH" в пункте "FILTER". Там же можно найти подпункт "SOBEL", который служит для выделения краев изображения. Этот фильтр может быть вызван также нажатием клавиш "F4". Подчеркивание наименьших перепадов температур осуществляется клавишами "Alt"+"F4" или с помощью подпункта "UNSHRP-MSK".

Программа предоставляет возможность просмотра термоизображений в режиме 3-мерного отображения 29, где координаты X и Z в пространстве соответствуют размерности самого изображения, а координата Y величине температуры в каждой конкретной точке термограммы. Вход в этот режим осуществляется клавишей "N". Масштабирование по оси Y производится нажатием клавиш "Вверх", "Вниз". Шаг сетки по горизонтали регулируется клавишами "Влево", "Вправо", по вертикали - "Alt"+"Влево", "Alt"+"Вправо". Выход из режима 3-мерного просмотра - клавиша "Esc".

Также можно разными способами наложить одно отдельное термоизображение (или определенный кадр из фильма) на другое. В режиме наложения поле вывода изображения делится на четыре части. В двух верхних из них содержатся исходные термограммы, а в левой нижней - результирующие данные. Правое верхнее изображение является текущим (загруженным в данный момент в программу). В левую верхнюю панель можно загрузить

любую термограмму с жесткого диска компьютера путем выбора нужного файла в панели файлов. Вход в режим наложения клавишами "Alt"+"A" позволит сложить данные двух термоизображений. Клавиши "Alt"+"S" производит вычитание, "Alt"+"R" - вычисляют среднее, а "Alt"+"Z" - разницу между данными термограмм. Чтобы выйти из режима наложения необходимо нажать клавишу "Esc". Результирующая термограмма выведется на полный экран.

7.4.7.5 Работа с палитрами Стандартный набор палитр



Палитра 25 служит для наилучшего представления температурных данных, полученных с ИК-камеры, а также для проведения соответствия между цветом и значением температуры на шкале. В стандартный набор палитр для программы входят восемь основных палитр, состоящих из 256 оттенков цветов каждая. Выбор нужной палитры осуществляется нажатием клавиш '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8'. Любое изменение палитры мгновенно дает изменение на изображении. Для осуществления плавного перехода от одной палитры к другой следует, нажимая клавиши соответствующих палитр, удерживать клавишу 'Alt'.

Движение палитры



Движение палитры необходимо для подчеркивания участков термоизображения с малой контрастностью.

Оно осуществляется путем нажатия клавиш:

'S' - Расширение палитры - движение верхнего края палитры вверх

'X' - Сужение палитры - движение верхнего края палитры вниз

'A' - Движение всей палитры вверх

'Z' - Движение всей палитры вниз

'Q' - Восстановление начального положения палитры

Также движение палитры можно осуществить с помощью мыши, предварительно нажав левую кнопку в области палитры. Передвигая мышь вверх и вниз, получаем движение всей палитры (аналогично 'A', 'Z'). Вправо, влево - сужение и расширение палитры (аналогично 'S', 'X'). Нажатием в области палитры правой кнопки мыши можно восстановить исходное положение палитры (аналогично 'Q'). Нажатием на клавишу 'Space' можно отнормировать палитру по минимуму и максимуму температур.

Переворот палитры



Переворот выбранной палитры осуществляется нажатием на клавишу '9'. Инвертирование цветов выбранной палитры осуществляется одновременным нажатием клавиш 'Alt'+ '9'.

Инверсия



Инвертирование цветов выбранной палитры осуществляется одновременным нажатием клавиш «Alt+9».

Изотерма

Изотерма 27 - заданный участок шкалы температур (палитры) выделенный одним цветом. Для входа в режим изотермы необходимо нажать клавишу «I». Передвижение изотермы по палитре осуществляется теми же клавишами, как и при движении палитры ('A', 'Z', 'S', 'X'). Чтобы наложить на изотерму палитру из стандартного набора необходимо нажать клавишу «C» или правую кнопку мыши. Действия со сменой, инверсией, переворотом цветных изотерм производятся теми же клавишами что и с обычными палитрами. Для того чтобы отменить изотерму, необходимо повторно нажать клавишу «I». Температурные значения начала и конца



палитры или изотермы отображены на панели под панелью палитры 21. Эта панель также служит для включения и выключения режима изотермы помощью нажатия на ней левой кнопки мыши.

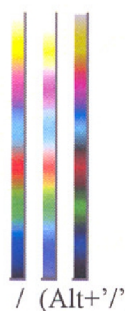
Вращение палитры



Нажатием кнопки '0' осуществляется вход в режим вращения палитры. Остановить вращение можно, нажав 'Esc' или снова '0'. Осуществить вращение

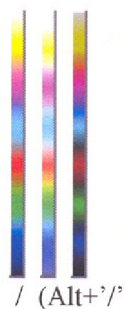
палитры вверх можно нажатием клавиш 'Alt'+'0'.

Яркость



Добавление яркости палитры осуществляется нажатием на кнопку '/'. Затемнение палитры - клавиши 'Alt'+'V'.

Изменение числа градаций палитры



Для разбиения термоизображения на цветовые области, соответствующие определенным участкам температур, можно воспользоваться функцией изменения числа градаций палитры. Для уменьшения числа градаций необходимо несколько раз нажать клавишу W.

7.4.7.6 Построение термопрофилей

Вход в режим построения термопрофилей 28 осуществляется клавишей 'G'. При этом поле экрана делится на две части: верхняя - изображение с наложенными на него линиями среза, нижняя - график распределения температур по линии среза (термопрофиль). Строится тер-

мопрофиль в любом направлении и с любым масштабом. Для этого предусмотрена возможность движения начальной и конечной точек линии среза как по отдельности, так и одновременно. Движение мыши с нажатой левой кнопкой изменяет положения начальной точки линии среза, а с нажатой правой кнопкой - конечной точки. Движение мыши с одновременно нажатыми левой и правой кнопками сдвигает всю линию среза. Фиксация термопрофиля и переход к построению нового осуществляется клавишей 'Ctrl'.

Программой предусмотрен вывод маркера на линию термопрофиля. Он представлен в виде перекрестия на линии среза и дублирован на графике термопрофиля вертикальной линией. В точке термопрофиля обозначенной маркером, измеряется температура, и ее значение выводится на нижней панели. На эту панель выводится и координата маркера на линии среза "X:", а также минимальное, максимальное и среднее значение температур и количество точек.

Подстройка диапазона в зависимости от максимума и минимума термопрофиля и его масштабирование производится клавишей "Tab". При ее отпускании диапазон и масштаб возвращаются к исходному размеру.

Если загружен файл, содержащий набор термоизображений (термографический фильм), имеется возможность построения графика распределения температур во времени (от кадра к кадру) в точке, определенной маркером на линии среза. Этот график выводится справа от термоизображения и содержит вертикальную линию, обозначающую текущий кадр фильма, изменяющую свое положение, в зависимости от отображаемого в данный момент кадра.

Выход из режима построения термопрофиля - клавишей 'Esc'.

7.4.7.7 Дополнительные возможности

К дополнительным возможностям программы относятся функции, непосредственно не связанные с получением, загрузкой и обработкой термоизображений. К таким функциям можно отнести вывод текущего

времени на экран компьютера на панель, находящуюся сверху панели палитр. Нажатием на ней левой кнопки мыши получим дату, установленную на системном таймере компьютера. На эту панель может быть выведено состояние батарей питания (при работе на портативном компьютере типа NOTEBOOK)- нажатием на клавиатуре клавиши "В" либо правой кнопки мыши на самой панели.

Изменение разрешающей способности экрана производится выбором соответствующего подпункта в пункте меню "SETUP". Имеется возможность выбора одного из четырех разрешений экрана - 640x480, 800x600, 1024x768 и 1280x1028 точек. В любом случае цветовое разрешение экрана сохраняется и устанавливается 256 цветов. Так как некоторые видеокарты и мониторы не поддерживают высокие разрешения, рекомендуется пользоваться разрешениями 640x480 или 800x600. При этом сохраняется высокая скорость вывода изображений на экран и устойчивая работа программы.

Инвертировать цвета фона можно нажатием клавиши "F". Эта функция применяется при записи РСХ файлов с последующей распечаткой для экономии расходных материалов принтера. Восстановление цветов фона осуществляется повторным нажатием клавиши "F".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Появление тепловизоров позволило решать задачи, ранее не подвластные человеку, – быстро измерять и отображать температурные поля различных объектов как живой, так и неживой природы. С помощью тепловизоров уже сегодня в энергетическом машиностроении решается широкий круг задач и перед ними открыты еще большие перспективы. Так, еще недавно трудно было предположить, что с их помощью возможно определение утечек газов – а сегодня это реально решаемая задача. Между тем, в силу новизны гражданского применения тепловизоров, еще не все области их возможного использования изучены и хорошо освоены. Авторы данного пособия при его написании ставили своей целью способствовать подготовке широкого круга специалистов, которые выполняют эту задачу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смит, Сайрус М. Приборы ночного видения для сил специального назначения/ Сайрус М. Смит. – НАСА, 2001.
2. Мухачев, Г.А. Термодинамика и теплопередача/Г. А. Мухачев, В. К. Шукин.– М.:Высш. шк.,1991.–480 с.
3. Алексеев, Г.Н. Общая теплотехника/Г. Н. Алексеев. – М. Высш. шк., 1980. – 551 с.
4. Саликов, В.Л. Приборы ночного видения: история поколений/В. Л. Саликов// Специальная техника. –2000. –№2.
5. Птичкин, С. Чудеса на виражах/ С. Птичкин//Российская газета.–2007. – 27 августа.
6. Грек, А. Увидеть тепленьким/А. Грек//Популярная механика.– 2006. –№9. С. 27-28
7. Якушенков, Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник для вузов / Ю.Г. Якушенков. – Изд. 4-е, перераб. и дополн. – М.: ЛЮГОС, 1999. – 360 с.
8. <http://www.tempero.ru>
9. Сайт «Инфракрасные камеры» <http://www.infrared-instrument.ru>
10. Портативный компьютерный термограф ИРТИС-2000NB, ИРТИС-2000NH. Паспорт. Компания «Иртис», 2007 г. 46 с.
11. Краткое руководство по работе с ИК-камерой «ИРТИС». Компания «Иртис», 2007 г. 26 с.
12. Руководство пользователя программным пакетом IRPREVIEW. Компания «Иртис», 2006 г. 14 с.
13. Программный пакет NewIRTIS.Руководство пользователя. Компания «Иртис», 2005г. 16 с.

Учебное издание

***Бирюк Владимир Васильевич,
Матвеев Сергей Геннадьевич,
Орлов Михаил Юрьевич,
Панкова Галина Глебовна***

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗОРА
В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ**

Учебное пособие

Технический редактор А. М. Цыганов
Редакторская обработка Ю. Н. Литвинова
Корректорская обработка Т. К. Кретикина
Доверстка Т. Е. Пловнева

Подписано в печать 27.12.07. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 6,0

Тираж 120 экз. Заказ . ИП-ж138/2007

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.