



*Журнал включен в Российский Индекс Научного Цитирования
Зарегистрирован в Научной Электронной Библиотеке
Лицензионный договор № 727-11/2014*

**Учредитель и издатель – Общественная научно-техническая академия «Контенант»
Издается с 2002 г.**

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОПТИКЕ

Бобырев Д.А., Михайлов С.А.

Обработка неструктурированных измерений кинематических систем 3

Васин А.О., Круглов Б.В.

Построение трехмерных цифровых моделей рельефа по данным дистанционного зондирования земли 11

Борщев В.А.

Использование блокчейн-платформы Ethereum для обеспечения безопасности интернета вещей 15

РАСЧЕТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Овсянников В.А., Филиппов В.Л.

О рациональной тактике применения воздушной тепловизионной аппаратуры при поиске объектов местности 20

Овсянников В.А., Овсянников Я.В., Филиппов В.Л.

К развитию методов стендовой аттестации несканирующих тепловизионных приборов 28

**Волков В.Г., Гиндин П.Д., Карпов В.В., Моисеев Е.А.,
Сеник Б.Н.**

Защищенные фото- и видеокамеры 43

Овсянников В.А., Овсянников Я.В., Филиппов В.Л.

О предельно достижимой дальности действия тепловизионных приборов 60

**Волков В.Г., Гиндин П.Д., Карпов В.В., Моисеев Е.А.,
Сеник Б.Н.**

Телевизионные фотоловушки 71

**Волков В.Г., Гиндин П.Д., Карпов В.В., Моисеев Е.А.,
Сеник Б.Н.**

Оптические приборы с рабочим ультрафиолетовым диапазоном спектра 85

ОПТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

**Абдулкадыров М.А., Семенов А.П., Белоусов С.П.,
Владимиров Н.М., Добриков Н.С., Игнатов А.Н.,
Придня В.В., Полянщиков А.В., Насыров Р.К.**

Изготовление зеркал для нового турецкого телескопа с 4-х метровым главным зеркалом 96



*Журнал включен в Российский Индекс Научного Цитирования
Зарегистрирован в Научной Электронной Библиотеке
Лицензионный договор № 727-11/2014*

**Учредитель и издатель – Общественная научно-техническая академия «Контенант»
Издается с 2002 г.**

СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)

Шаповалов М.В., Литвинов С.А.

Анализ и разработка конструкции автоматической пресс-формы для изготовления «каркаса» для кислородной маски КМ-36 110

ИНФОРМАЦИЯ

Действительному члену академии «Контенант»
Павлу Васильевичу Финогенову – 100 лет 118

Международная научно-техническая конференция
«Оптико-электронные комплексы наземного и космического базирования» 120

УДК 608.4



ОБРАБОТКА НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

БОБЫРЕВ Д.А., МИХАЙЛОВ С.А.

ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: dmitrii.bobyrev@yandex.ru



Бобырев Д.А.



Михайлов С.А.

Аннотация: В данной статье представлены результаты разработки средства отслеживания и комплексирования неструктурированных измерений кинематических систем.

Ключевые слова: машинное зрение, глубокое машинное обучение, антропометрия, распределенные системы, системы распределенного управления данными, большие данные.

PROCESSING OF UNSTRUCTURED MEASUREMENTS OF KINEMATIC SYSTEMS

BOBYREV D.A., MIKHAYLOV S.A.

PJSC “Krasnogorskiy Zavod named S.A. Zverev”

3-rd Scientific Company of the Space Forces of the Air and Space Forces of the Russian Federation

E-mail: dmitrii.bobyrev@yandex.ru

Abstract: *This paper represents development results of an instrument for tracking and complexing unstructured measurements of kinematic systems.*

Keywords: machine vision, deep machine learning, anthropometry, distributed systems, distributed systems for data management, big data.

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое решение представляет собой систему отслеживания и комплексирования неструктурированных измерений кинематических систем (motion – sensors).

В решение включаются также системы VR – моделирования.

Основными задачами предлагаемого решения являются:

- Использование глубокого машинного обучения для создания информационного окружения с целью осуществления сбора информации о пользователе и условиях его обитания, комплексирования этой информации и выявления рекомендаций технического, антропометрического и социального типов для упрощения повседневной жизни индивидуума и формирования детальной антропометрической модели;

- Анализ антропометрических данных пользователя и параметров окружающей среды и жилого помещения;

- VR – моделирование – оценка жилого помещения, виртуализация пользователя, включение в VR – окружение;

- Создание аватара пользователя – виртуальной модели, демонстрирующей состояние пользователя;

- Подключение виртуального помощника;
- Обеспечение конфиденциальности и безопасности данных пользователя.

- Применяемые технологии для решения поставленных задач:

- Машинное зрение;
- Глубокое машинное обучение;
- Антропометрия при помощи распределенных систем;

- Системы распределенного управления данными:

- Хранение – network RAID, ZFS (Данные хранятся в виде распределенного образа на нескольких модулях системы);

- Обработка – Данные обрабатываются при помощи всех компонентов системы (параллельные вычисления);

- Синхронизация – передача данных между модулями (mesh, p2p) для создания инфраструктуры умного дома без участия сервера;

- IoT;

- Большие данные.

В современных условиях становится всё сложнее уделять время на обработку, изучение и оценивание собственного соматического состояния. Часть этой проблемы решается посредством приобретения и использования разного рода гаджетов, позволяющих осуществлять оценивание антропоморфных параметров, таких как пульс, давление, необходимая минимальная физическая нагрузка и т.д.

Тем не менее, количество таких параметров довольно значительно, а результаты оценки представляют собой разрозненные данные, которые невозможно без должного образования и навыков, а также времени, уделяемого на их обработку и оценивание скомпоновать в единую картину, представляющую образ соматического состояния пользователя.

Для решения такой проблемы можно применять разнообразные подходы, тем не менее, наиболее быстродейственным методом является применение совокупности нейросетевых алгоритмов и генетического алгоритма в качестве медиатора, что и реализуется в ОНИКС.

Система ОНИКС представляет собой систему комплексирования и оценки сведений о пользователе из различных источников данных. Основная задача системы – реализация рекомендаций по улучшению соматического состояния и оценивание образа жизни пользователя. Также данная система реализует функционал «электронного помощника», позволяющего обрабатывать речевые команды для управления подсистемами в рамках концепции «умный дом» и средство напоминания и планирования.

Предполагаемая функциональная схема представлена на рис.1. Из неё видно, что подобная система совмещает в себе множество хозяйственно – бытовых функций, позволяя сократить время на обработку пользователем подобной информации и систему сбора и оценивания антропометрических данных пользователя.

ОЦЕНКА РЫНКА УМНЫХ ДОМОВ В РОССИИ

По данным маркетингового агентства Discovery Research Group, объем рынка систем типа «Умный дом» в России составил 7,5 млрд. руб.

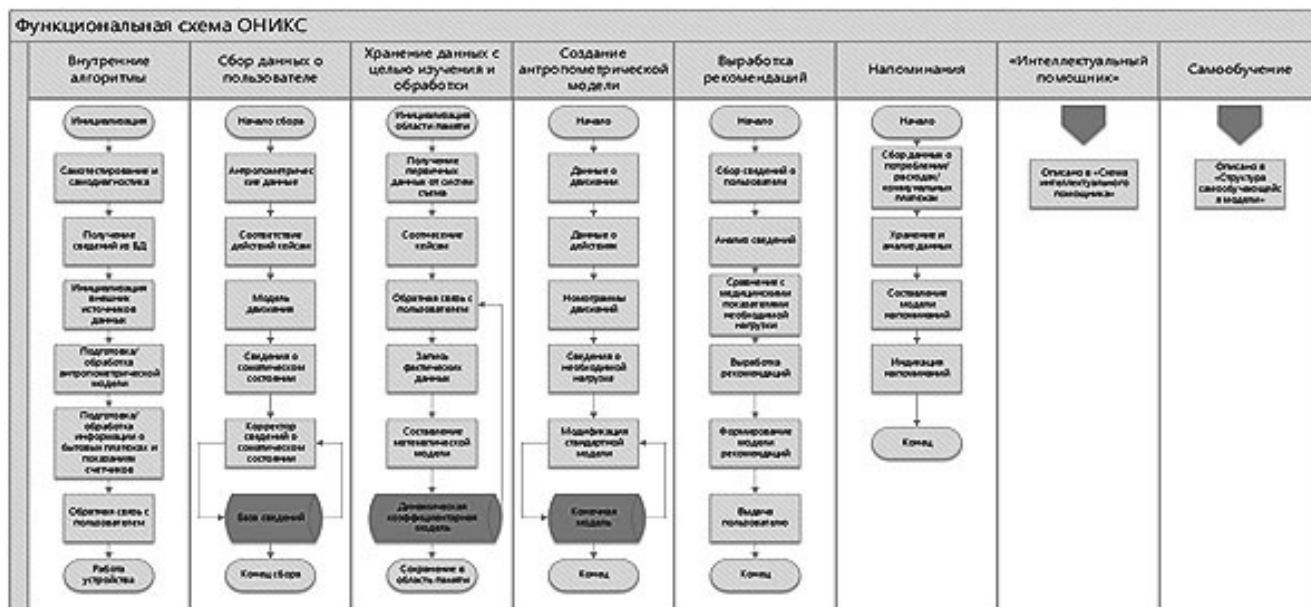


Рисунок 1.
Функциональная схема системы ОНИКС

в 2014 г., что на 21 % больше показателя 2013 г. В 2015 г. рост рынка составил 22.7% по сравнению с 2014 г., что составляет 9.2 млрд. руб. В 2016 г. рынок вырос на 21.7% по сравнению с 2015 г., что составляет 11.2 млрд. руб. Отмечаются высокие темпы прироста рынка до 2020 г. (прогноз).

В структуре рынка систем типа «умный дом» в России основную долю рынка составляет Центральный ФО, занимающий 52% рынка, притом Москва и МО – 44% от общей доли. На втором месте стоит Северо – Западный ФО – 13% доли рынка. На третьем месте – Приволжский ФО – 10%.

Основные сегменты рынка:

- Устройства – 59.4% об. рынка;
- Сервисы – 21.3% об. рынка;
- Услуги по монтажу, подключению, настройке и обслуживанию систем – 19.3% об. рынка.

Ввиду консервативности общества и низкой покупательской способности широкого населения России, а также ввиду малой технической осведомленности системы типа «умный дом» остаются эксклюзивным продуктом рынка, что обуславливает стоимость поддержки и установки, техническая сложность использования и непривычность. Отмечается прогноз на рост спроса на бюджетные китайские устройства и системы [1].

ОЦЕНКА СТОИМОСТИ СИСТЕМЫ

Для оценки конечной покупательской стоимости системы необходимо проанализировать её составляющие. В макетном варианте система состоит из:

- Основной вычислитель (ядро системы):
- Arduino Yún – 3990 – 6666 ₺;
- Корпус – 500 – 1000 ₺;
- Набор чувствительных элементов:
- Аналоговый термометр (TMP36 troyka module) – 190 ₺;
- Барометр (LPS331AP troyka module) – 490 ₺;
- Датчик горючих и угарного газов (MQ-9 troyka module) – 590 ₺;
- Датчик освещённости (GL5528 troyka module) – 140 ₺;
- Датчик паров спирта (MQ-3 troyka module) – 640 ₺;
- Датчик потока воды x2 (YF-S201) – 980 ₺;
- Датчик пульса – 990 ₺;
- Датчик углекислого газа (MQ-135 troyka module) – 490 ₺;
- Датчик шума (troyka module) – 590 ₺;
- Сенсор вибрации (troyka module) – 640 ₺;
- клавиатура (troyka module) – 240 ₺;
- Интерфейсные модули:
- Troyka Shield - 690 ₺;
- Bluetooth (HC-05 troyka module) – 840 ₺;
- Соединительные провода «мама-папа» - 480 ₺.

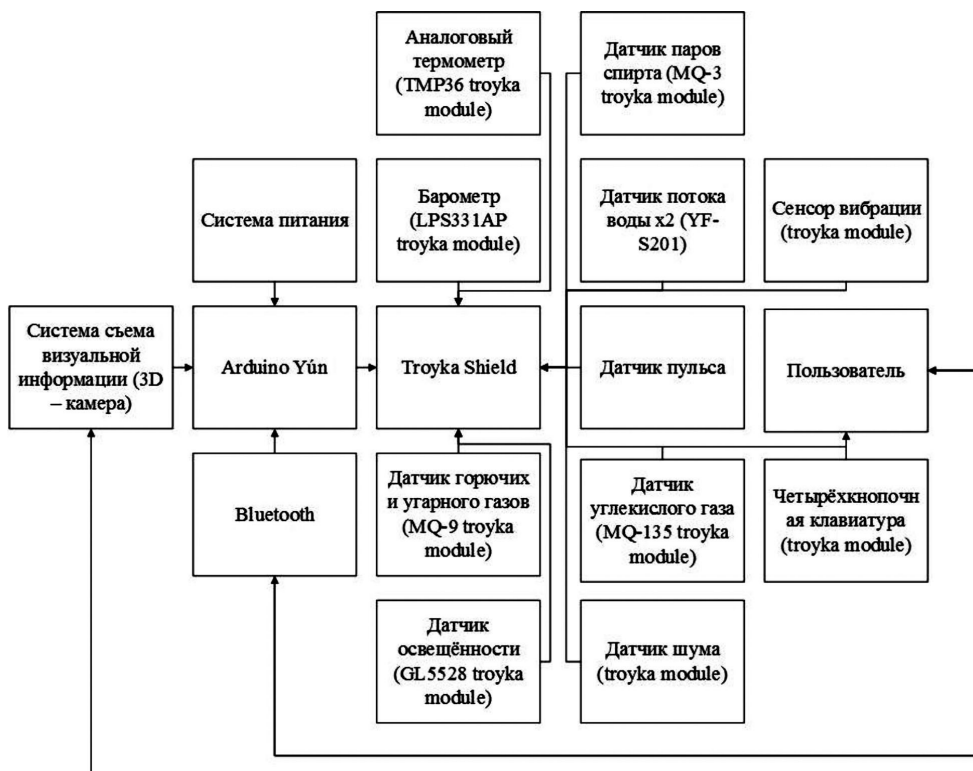


Рисунок 2.

Структурная схема системы ОНИКС

В итоге, предполагаемая себестоимость прототипа не превышает 15000 ₺.

Опционально в систему добавляются камеры SoftKinetic DS311, либо senz3d, стоимость которых составляет 5990 ₺ и 13000 ₺ соответственно.

Структурная схема решения представлена на рис. 2. В ней отображен структурный вид взаимодействия подсистем ОНИКС, раскрывающий взаимосвязь между интерфейсами.

РАЗРАБОТКА БАЗОВЫХ АЛГОРИТМОВ

Основная идея решения – комплексирование показателей различных антропометрических датчиков и обработка сведений при помощи самообучающейся модели, содержащей также модели, устанавливающие ограничения или содержащие рекомендации по улучшению функционального состояния. При помощи чувствительных элементов и датчиков первичной информации производится сбор данных о образе жизни и модели потребления, которая корректируется в соответствии с заданной моделью, с учетом индивидуальных особенностей пользователя. Подобная схема адаптации показана на рис. 3.

Первичным алгоритмом является совокупность алгоритма сбора и хранения информации и алгоритма оценивания информации, каждый из которых рассмотрен подробно в приложении 1.

После того, как произведена обработка, необходимо записать текущую модель пользователя для накопления эмпирической базы данных с целью анализа и сравнения. В конечном итоге, производится компоновка проанализированной модели в базу данных ассоциативно – реляционного типа с последующей её модификацией в соответствии с естественными биологическими процессами (старение, негативные травматические воздействия и т.п.).

Структурная схема алгоритмов и их взаимосвязи находится в процессе модификации.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВЫХ НАБОРОВ МОДЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ

Совокупность моделей движения человека можно рассматривать с точки зрения двух подходов:

- Рассмотрение движения человека, как трехстепенного антропоморфного механизма
- Рассмотрение движения полной антропологической модели движения

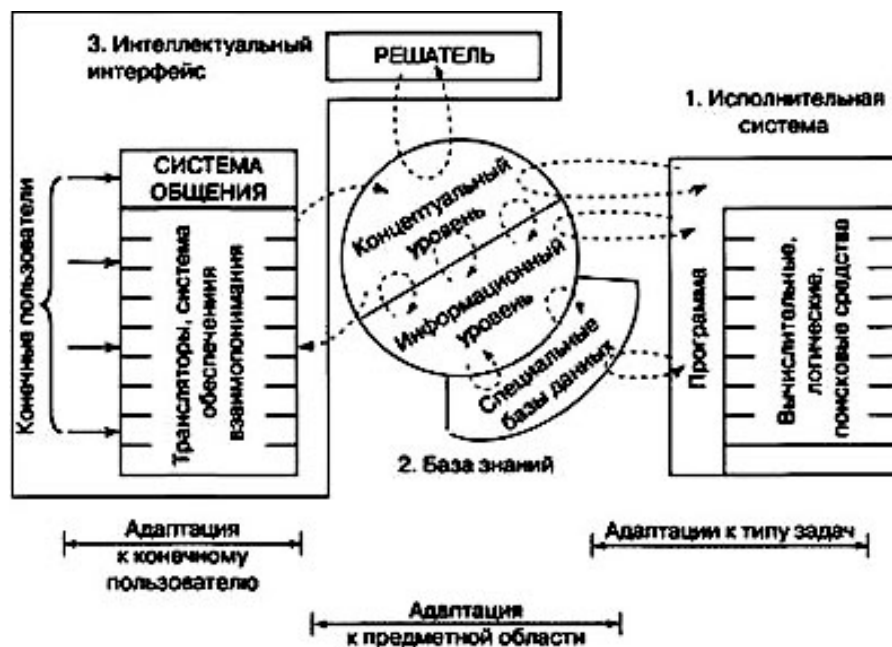


Рисунок 3.

Адапционная модель ОНИКС

Анализ источников [2-35] показал, что наиболее подходящим в данном случае является представление набора движений в виде интегральной математической модели движения частей человека биомеханического типа (трехстепенного антропоморфного механизма), а именно: головы, тела(туловища) и нижних конечностей. Подробно эта модель описана в приложении 2.

СОЗДАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ МОДЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ

Одним из главных достоинств продукта является использование открытых архитектурных решений. Для формирования первичной модели человека и модели движений использовались JHMDB (Joint-annotated Human Motion Data Base) и Human Pose Dataset MPII. Данные базы позволяют на основе уже известных поведенческих моделей интерпретировать перемещение человека с соотносением его некоторым действиям (например, подъем по лестнице, сидячая поза, положение лежа и т.д.), на основании чего производится составление и сопоставление действий кейсам посредством опроса пользователя.

Примерный вид структуры БД движений человека представлен на рис. 4.

Получение сведений о движении требует выполнения задачи отделения человека от иных объектов и выделения его от фона. Структурная схема решения этой задачи представлена на рис. 5.

Иным вариантом решения такой задачи является использование камеры, позволяющей строить текстурно – глубинное трехмерное представление. В этом случае видоизменяется технология решения задачи отделения человека от иных объектов и выделения его от фона, структурная схема которой показана на рис. 6.

Таким образом, можно увидеть, что под подобного рода задачи необходим тщательный анализ и проработка структуры БД. Общая структурная схема представлена на рис. 7.

База данных и знаний системы представляет собой совокупность информации о пользователе, обновляемой по мере обучения системы, стандартной модели человека, модифицируемой под пользователя, информации о стандартных задачах пользователя, кейсов, информации о моделях поведения (с целью реализации отключения наблюдения при некоторых действиях пользователя), базы сведений о антропометрическом состоянии, базы данных движений и перемещений, базы сведений о хозяйственно – бытовой деятельности,

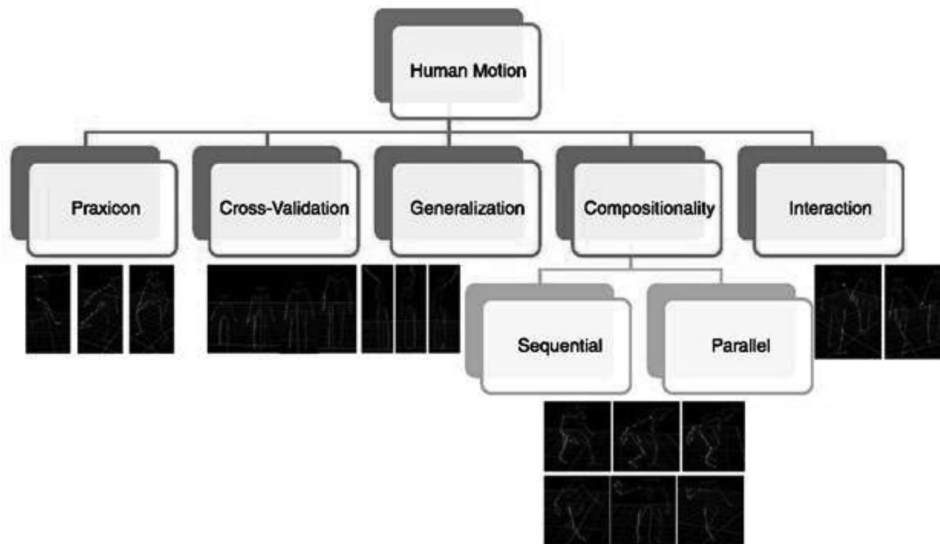


Рисунок 4.
Структура БД движений человека



Рисунок 5.
Структурная схема решения задачи определения человека



Рисунок 6.
Структурная схема решения задачи определения человека в случае построения текстурно – глубинного трехмерного представления

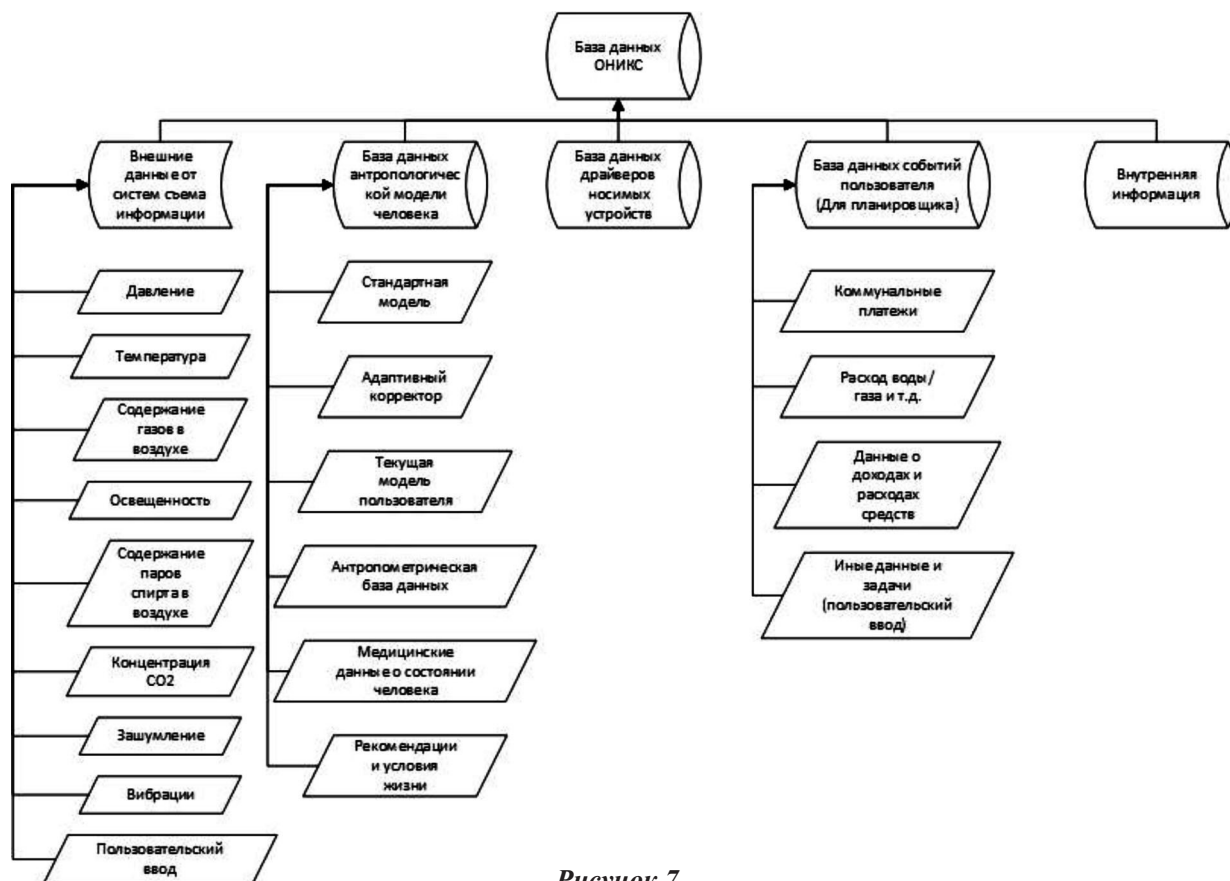


Рисунок 7.

Структурная схема базы данных ОНИКС

базы драйверов датчиков и систем, интерфейса человека – машинного взаимодействия (включая связь через приложение, базу жестов и базу голосовых команд) и базы внутренних алгоритмов.

АДАПТАЦИЯ ПОД ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Одной из основных задач системы ОНИКС является адаптация стандартных моделей под пользователя. Наибольшую эффективность демонстрирует использование комбинации методов самообучающейся нейронной сети и нейромедиатора, управляющего качеством решения. В качестве нейромедиатора удобно применять генетический алгоритм – адаптивный метод поиска, который все чаще используется для решения задач функциональной оптимизации. Аналогично генетическим процессам биологических организмов, генетические алгоритмы способны «развивать» – улучшать решения реальных задач, если те закодированы соответствующим образом. Они оперируют наборами «особей» – популяцией, где каждая особь представляет собой возможное решение

поставленной задачи. Каждой особи присваивается мера ее приспособленности в соответствии с тем, насколько хорошо представленное ей решение задачи. Оценивание качества решения осуществляется с помощью функции приспособленности (целевой функции).

Наиболее приспособленные особи отбираются для создания нового поколения (воспроизведения потомства) с помощью перекрестного скрещивания с другими особями популяции. В результате этого появляются новые особи, которые сочетают в себе некоторые характеристики, унаследованные ими от родительских особей.

Каждое новое поколение по отношению к предыдущему содержит большее количество характеристик, которыми обладают хорошие члены предыдущего поколения. В конечном итоге популяция будет сходиться в среднем к оптимальному решению задачи. Структурная схема адаптации на основе комбинации нейронных сетей и генетического алгоритма представлена на рис. 8.

Алгоритм работы оболочки системы:

Первым шагом алгоритма поиска оптималь-

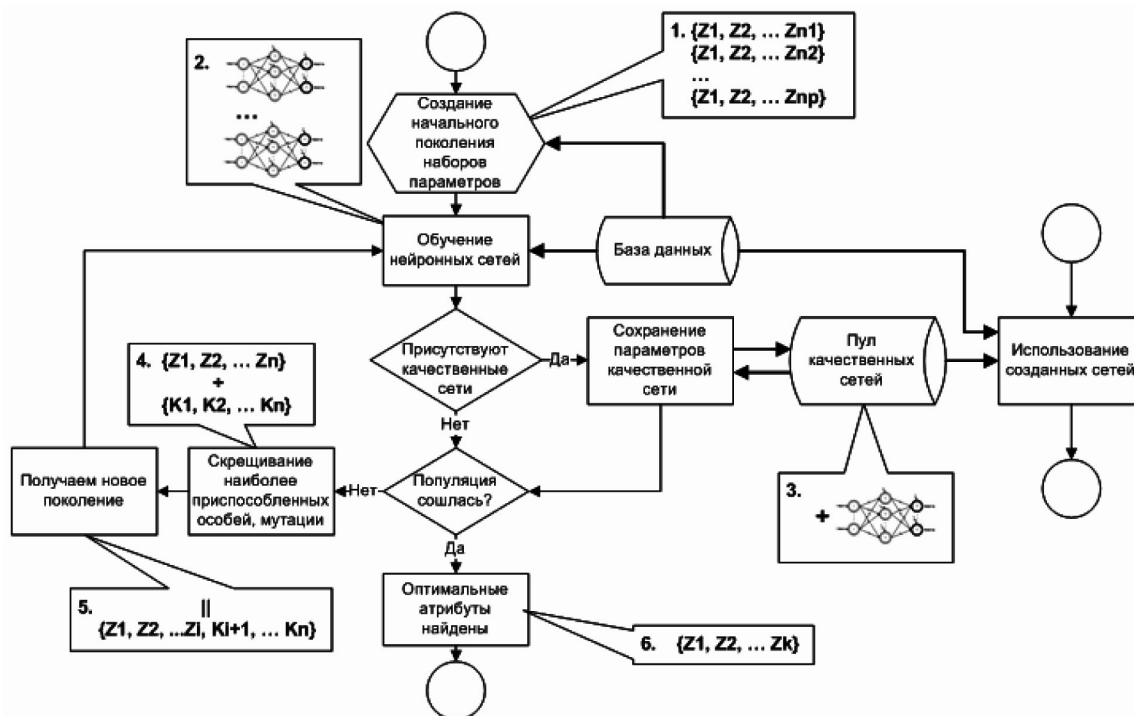


Рисунок 8.

Структурная схема адаптации на основе комбинации нейронных сетей и генетического алгоритма

ной для прогнозирования нейронной сети является создание начальных поколений. Для каждого значения диапазона используемых атрибутов и диапазона временных окон формируется заданное пользователем количество (размер популяции) случайных наборов параметров, на основании которых будет строиться прогноз.

На следующем шаге для каждого набора параметров система обучает множество нейронных сетей, прогнозирующих искомую величину.

Если среди обученных сетей существует сеть, работающая с меньшей погрешностью, чем у остальных сетей, параметры такой сети необходимо сохранить в пул качественных сетей. Как только в пуле появится первая сеть, параллельно с алгоритмом нахождения оптимальных параметров нейронной сети может работать алгоритм прогнозирования, выбирая из пула сеть с наименьшей погрешностью.

Если популяция не сошла или максимальное число итераций не превышено, в каждом поколении определяется набор лучших особей, имеющих наименьшую ошибку прогнозирования, для скрещивания.

На основе отобранных лучших особей генерируются новые поколения путем скрещивания и мутаций. Выполнение алгоритма продолжается с пункта 2. Программа выходит из цикла либо если превышено максимальное количество итераций, либо в случае сходимости популяции.

Если популяция сошла, то на выходе мы получаем оптимальный набор атрибутов, а основанная на нем нейронная сеть уже находится в пуле качественных сетей.

Таким образом, адаптация ОНИКС под пользователя при использовании указанного подхода занимает значительно меньше времени.

Список литературы:

1. <https://marketing.rbc.ru/research/39016/>
2. Воронов А.В. Анатомическое строение и биомеханические характеристики мышц и суставов нижней конечности. - М.: Физкультура, образование и наука, 2003. - 203 с.
3. Вукобратович М. Шагающие роботы и антропоморфные механизмы. - М.: Мир, 1976. - 541 с.
4. Вукобратович М., Стокич Д. Управление манипуляционными роботами: теория и приложения. - М.: Наука, 1985. - 384 с.
5. Загrevский В.И. Программирование обучающей деятельности спортсменов на основе имитационного моделирования движений человека на ЭВМ: Автореф. докт. дисс. Томск, 1992.
6. Зинковский А.В., Макаров Н.В., Шолуха В.А. Компьютерный анализ адекватных моделей антропоморфных локомоций. - В кн.: Кибернетика и вычислительная техника, 1990, вып. 86б, с. 56-60.
7. Зинковский А.В., Шолуха В.А. Антропоморфные механизмы, моделирование, анализ и синтез движений: Учеб. пос. - Л.: СПбГТУ, 1992, 71

ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

ВАСИН А.О., КРУГЛОВ Б.В.

ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: alesha-vasin93@yandex.ru



Васин А.О.



Круглов Б.В.

Аннотация: В данной статье рассмотрены глобальные цифровые модели рельефа, а также программный процесс формирования цифровых моделей рельефа предназначенных для дальнейшей обработки.

Ключевые слова: моделирование, рельеф, дистанционное зондирование.

CONSTRUCTION OF THE THREE-DIMENSIONAL DIGITAL RELIEF MODEL FROM THE DATA OF REMOTE ZANDING OF THE EARTH

VASIN A.O., KRUGLOV B.V.

PJSC “Krasnogorskij Zavod named S.A. Zverev”

3-rd Scientific Company of the Space Forces of the Air and Space Forces of the Russian Federation

E-mail: alesha-vasin93@yandex.ru

Abstract: In this article, we consider global digital terrain models, as well as the software process of forming digital relief models for further processing.

Keywords: modeling, relief, remote sensing.

В настоящее время наиболее перспективным направлением исследований в сфере управления территориями является трехмерное моделирование объектов. Постоянный рост значение данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), который обеспечен следующими причинами:

- рост пространственного разрешения систем сканерной съемки;
- широкое распространение недорогих и доступных цифровых фотограмметрических станций;
- появление нового метода экстракции высот – интерферометрии.

Делает его наиболее предпочтительным в качестве информационного обеспечения для построения цифровых моделей рельефа (ЦМР).

Под цифровой моделью рельефа понимается представление пространственных объектов в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок.

В качестве исходных данных для построения моделей рельефа выступает массив высот. Данные для заполнения массива высот поступают из ЦМР открытого пользования.

Основными глобальными ЦМР в настоящее время являются:

1. SRTM C-band;
2. SRTM X-band;

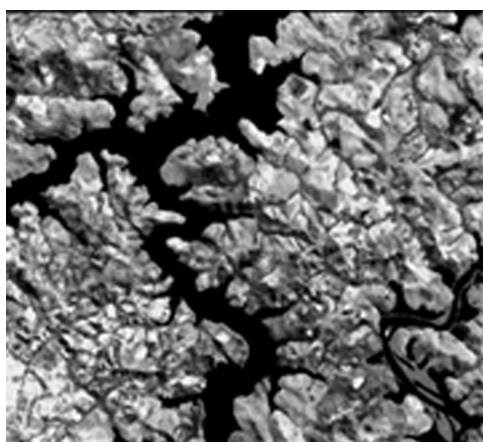


Рисунок 1.
Пример входного файла

3. Aster GDEM2;
4. GMTED2010;
5. SPOT DEM;
6. TanDEM-X Global DEM (WorldDEM).

Наиболее широко распространённые представления поверхностей в Географических информационных системах (ГИС) являются растровое представление и модели TIN.

Исходя из этих двух представителей выделились, две альтернативные модели ЦМР: основанные на чисто регулярных (матричных) представлениях поля рельефа отметками высот и структурные, одной из наиболее развитых форм, которых являются модели на основе структурно-лингвистического представления.

Растровая модель рельефа - предусматривает разбиение пространства на далее не делимые элементы (пиксели), образуя матрицу

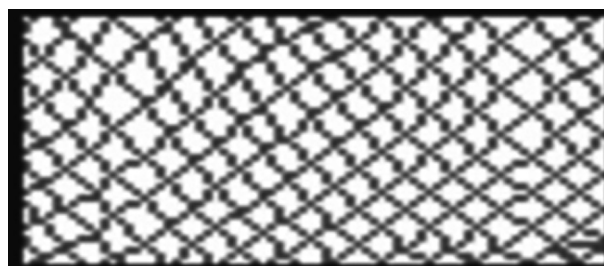


Рисунок 2.
Регулярная сеть высот

5.7	5	4.5	4.1	4	4.1	4.5	5	5.7
5	4.2	3.6	3.1	3	3.1	3.6	4.2	5
4.5	3.6	2.8	2.2	2	2.2	2.8	3.6	4.5
4.1	3.1	2.2	1.4	1	1.4	2.2	3.1	4.1
4	3	2	1	0	1	2	3	4
4.1	3.1	2.2	1.4	1	1.4	2.2	3.1	4.1
4.5	3.6	2.8	2.2	2	2.2	2.8	3.6	4.5
5	4.2	3.6	3.1	3	3.1	3.6	4.2	5
5.7	5	4.5	4.1	4	4.1	4.5	5	5.7

Рисунок 3.
Отображение регулярной модели сети высот на плоскости

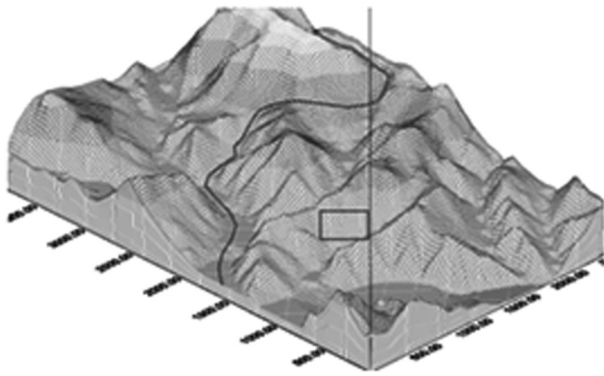


Рисунок 4.
Трёхмерная GRID модель рельефа

высот - регулярную сеть высотных отметок.

Подобные цифровые модели рельефа создаются национальными картографическими службами многих стран. Регулярная сеть высот представляет собой решетку с равными прямоугольниками или квадратами, где вершины этих фигур являются узлами сетки.

Нерегулярные сети триангуляции (TIN) используются в ГИС в течение многих лет и являются способом цифрового отображения структуры поверхности. TIN является формой векторных цифровых географических данных, которые строятся методом триангуляции набора вершин (точек). Вершины соединяются серией ребер и формируют сеть треугольников. Существуют различные методы интерполяции для формирования этих треугольников, например триангуляция Делоне. ArcGIS поддерживает метод триангуляции Делоне.

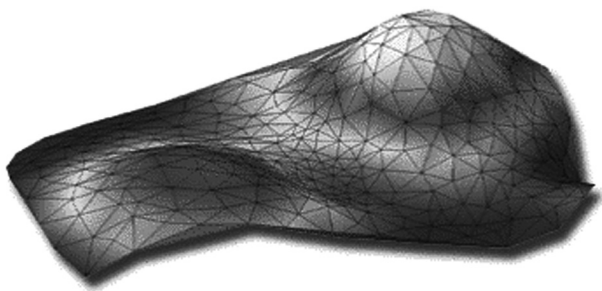


Рисунок 5.
TIN модель рельефа

Полученная триангуляция соответствует критерию треугольников Делоне, который требует, чтобы внутри окружности, описанной вокруг любого треугольника в сети, не содержалось более ни одной вершины треугольника. Если критерий Делоне соблюдается по всему TIN, минимальный угол всех углов всех построенных треугольников максимизируется. В результате, исключается появление «тонких» треугольников.

Ребра TIN формируют непрерывные, непесекающиеся грани треугольников, и могут использоваться для определения положения линейных пространственных объектов, играющих важную роль в построении поверхностей, например, для линий хребтов или направлений водотоков.

В совокупности значений построение трехмерных моделей рельефа необходимо для его детального изучения на любой территории, как на плоскости, так и в объеме. Кроме того, моделирование рельефа позволяет прогнозировать разрез почвы, определить уровень грунтовых вод и прочее.

Таким образом, ЦМР необходимы для изучения местности во многих отраслях:

- В целях картографирования. Это направление положило истоки оцифровки данных, а также дало множество исходного материала. Теперь уже оно само пользуется возможностями топографических моделей.

- Проектирование зданий и сооружений. Эта цель сейчас одна из основных, которые обслуживают ЦМР. Растровые изображения переносятся в системы CAD, а могут там и создаваться. На такой подложке создаются модели будущих строений. Учитываются не только координаты тех или иных точек, но и характеристики строительной площадки.

- Строение автомобильных дорог, магистралей и развязок. Перед тем как приступить к ремонтным работам, а тем более до

начала масштабного строительства, необходимо подробно изучить ту основу, на которой будет стоять дорога. Исследуется не только рельеф, но и уровень возможной просадки, нахождение грунтовых вод, которые могут размывать основания и пр.

– Природоохранные задачи. Особые точки на сетке ставятся в тех местах, где располагаются водоемы. Когда перед глазами сотрудника растровая картинка, намного легче ориентироваться на местности, отмечать все достопримечательные или особые места.

– Научные изыскания: биологи, экологи, географы, геологи и многие другие ученые в качестве исследований выбирают ЦМР.

– Бытовое использование цифрового моделирования в ГИС – электронные карты, навигаторы. Без карты в гаджете многие пользователи не смогут ориентироваться в городе, не говоря уже о незнакомых местах.

– Военное дело и мореплавание.

Список литературы:

1. Берлянт А.М. Виртуальные геоизображения. – М.: Научный мир, 2001. – 56 с.
2. Дьяконов К.Н., Касимов Н.С., Тикунов В.С. Современные методы географических исследований. – М.: Просвещение, 1996. – 207 с.
3. Морфодинамический анализ. – Л.: Недра, 1987. – 271 с. Лурье И.К. Основы геоинформатики и создание ГИС / Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – Ч. 1. – М., 2002. – 168 с.
4. Сербенюк С.Н., Кошель С.М., Мусин О.Р. Программы МАГ для создания цифровых моделей геополей // Геодезия и картография. – 1991. – № 4. – С. 44–46.
5. Скворцов А.В. Геоинформатика. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 336 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЛОКЧЕЙН-ПЛАТФОРМЫ ETHEREUM ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

БОРЩЕВ В.А.

ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: borchev_v_a@yandex.ru



Борщев В.А.

Аннотация: В данной статье рассматриваются основные проблемы безопасности технологии интернета вещей. Предложен способ защиты передаваемых умными устройствами данных с помощью применения смарт-контрактов блокчейн-платформы Ethereum. Описан алгоритм работы смарт-контрактов.

Ключевые слова: блокчейн, Эфириум, безопасность, интернет вещей, смарт-контракт.

USEGE OF THE ETHEREUM BLOCKCHAIN-PLATFORM FOR ENSURING THE SECURITY OF THE IOT

BORSCHEV V.A.

PJSC “Krasnogorskiy Zavod named S.A. Zverev”

3-rd Scientific Company of the Space Forces of the Air and Space Forces of the Russian Federation

E-mail: borchev_v_a@yandex.ru

Abstract: This article discusses the main security problems of the Internet of Things technology. The proposed method of protecting the transmitted smart data using the smart contract applications of the Ethereum blockchain platform. The algorithm of operation of smart contracts is described.

Keywords: blockchain, Ethereum, security, internet of tings, smart contract.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно развивается технология под названием «интернет вещей». Под этим термином понимается множество устройств, взаимодействующих между собой посредством стандартов беспроводной связи. Это технология будущего, которая предлагает предприятиям реальные возможности по повышению доходов, сокращению затрат, и преобразованию бизнеса. Но сейчас многие компании не готовы использовать у себя эту технологию из-за проблем, связанных с безопасностью, конфиденциальностью и несоответствием требованиям. Безопасность интернета вещей - это, в первую очередь, целостность кода, выполняющегося на устройствах, проверка подлинности устройств и пользователей, определение четких прав владения для устройств (в том числе данными, отправляемых с этих устройств), а также устойчивость к физическим и виртуальным атакам.

Компаниям требуется прозрачность при сборе информации. Они хотят знать, какие именно данные собираются и почему, кто может их просматривать, кто управляет доступом к данным и т. д. Специалисты, работающие в этом направлении, отмечают высокий потенциал технологии под названием «блокчейн».

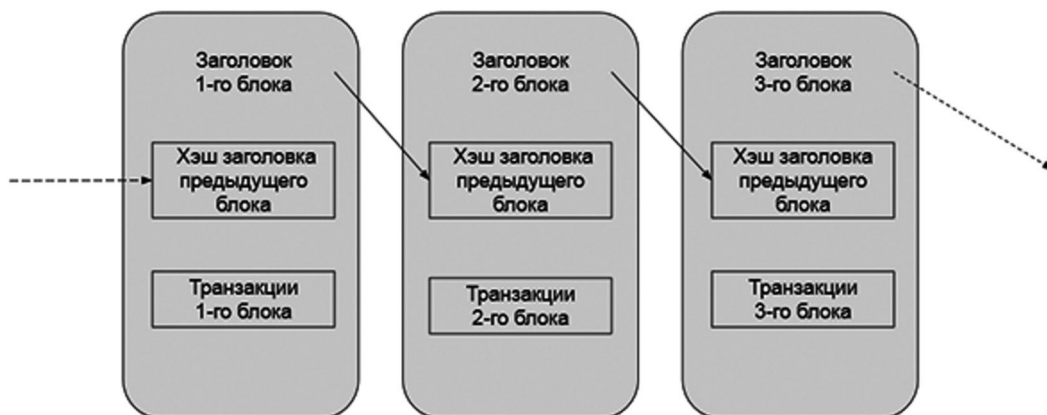
Блокчейн – это особая структура данных, которая состоит из блоков, особым образом соединенных в цепочку (см. рис. 1) [1]. Блоки содержат набор транзакций, метку времени создания блока и т.д. Кроме того, каждый

блок хранит в себе хэш (данные, преобразованные с помощью хэш-функции) заголовка предыдущего блока. Хэш-функции предназначены для «сжатия» произвольного сообщения или набора данных, записанных, как правило, в двоичном формате, в некоторую битовую комбинацию фиксированной длины, называемую сверткой [2]. Этим обеспечивается безопасность записываемых в блокчейн данных, так как для того, чтобы изменить транзакции в блоке, необходимо выполнить пересчет хэшей всех последующих блоков, что является очень долгой и сложной математической задачей.

На данный момент существует множество различных блокчейн-платформ для разных целей и задач. Для реализации поставленной цели была выбрана блокчейн-платформа Ethereum.

БЛОКЧЕЙН-ПЛАТФОРМА ETHEREUM

Ethereum - это платформа для создания децентрализованных приложений на базе блокчейна. Преимуществом этой платформы является возможность написания смарт-контрактов. Смарт-контракты - это компьютерный алгоритм, предназначенный для заключения и поддержания самоисполняемых контрактов, работающих в блокчейн-среде. Такие контракты записываются в виде кода, существующего в распределенном реестре (блокчейне), который поддерживается и управляется сетью компьютеров. Для написания смарт-контрактов Ethereum используются разные языки программирования, но самым популярным является



*Рисунок 1.
Цепочка блоков*

язык Solidity. Смарт-контракты предоставляют возможность выполнять надежные и конфиденциальные транзакции без участия внешних посредников. Такие транзакции являются прослеживаемыми, прозрачными и необратимыми. Результирующие изменения состояния контракта будут заверены криптографически и отправлены в общий блокчейн Ethereum, где их может увидеть любой участник сети. Владение контрактом прописывается в самом контракте (с использованием адресов владельцев, адресов их аккаунтов), т.е. оно является частью логики или состояния контракта.

Для того чтобы транзакция была признана действительной, она должна пройти через процедуру валидации (проверки и утверждения), известной как майнинг. Майнингом называется процесс, в котором группа узлов сети (т.е. компьютеров) расходует свои вычислительные ресурсы на создание блока действительных транзакций [3].

Базовая сущность, которой можно владеть в сети Ethereum, это аккаунт - пара из закрытого и открытого ключа. С помощью закрытого ключа происходит подпись отправляемых в блокчейн данных. Для проверки подлинности источника данных используется открытый ключ. Закрытый ключ должен держаться в секрете,

открытый ключ можно свободно публиковать. Для того чтобы отправлять транзакции в сеть необходим адрес. Процедура генерации адреса происходит следующим образом:

Вычисляется хэш открытого ключа по алгоритму кэскак-256. В результате получается 256-битное число.

Отбрасываются первые 96 битов (12 байтов) полученного числа. В итоге остаются 160 битов (20 байтов).

Затем адрес кодируется в шестнадцатеричную строку. Полученная строка состоит из 40 символов – это и есть адрес.

Пример адреса: 0x493c4afb73b490e988650b9758e7736c72af748f.

Для того чтобы начать использовать смарт-контракт, необходимо загрузить его в блокчейн, после чего ему будет присвоен адрес по которому можно будет вызывать методы контракта.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Для реализации поставленной задачи было создано 2 смарт-контракта (см. рис. 2). Первый смарт-контракт предназначен для хранения информации о зарегистрированных устройствах, а также аутентификации устройства, отправляющего данные.

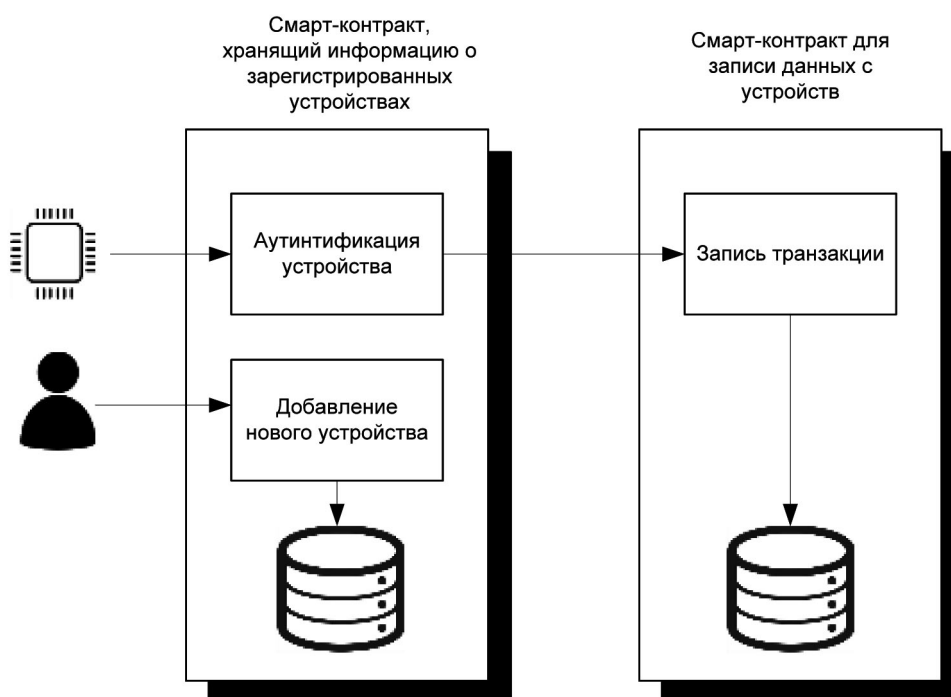


Рисунок 2.
Схема работы смарт-контрактов

Данные об устройствах хранятся в массиве:

```
struct Device {  
bytes32 idHash; // Идентификатор устройства  
string data; // Дополнительная информация  
bool active; // Статус устройства  
bytes32 publicKey; // Публичный ключ  
bytes32 hashFirmware; // Хэш прошивки устройств  
}  
Device[] public devices; // Массив устройств
```

Второй смарт-контракт хранит все транзакции с данными, которые отправляются с умных устройств.

Перед использованием умного устройства происходит его регистрация в базе данных блокчейна. При этом в устройство записывается приватный ключ, а в блокчейн записывается соответствующий ему публичный ключ. Устройство считывает данные из окружающего мира, затем выполняет хеширование данных, после чего шифрует полученный хэш с помощью приватного ключа. Для хеширования исходного сообщения используется функция SHA-256. Считанные данные подписываются устройством с помощью цифровой подписи. Для создания подписи используется алгоритм с открытым ключом ECDSA с кривой secp256k1.

Связь устройств с блокчейном происходит через специальный сервер (ноду), который вызывает метод смарт-контракта, отправляя полученные данные на адрес контракта. Сервер представляет собой программную платформу NodeJs, которая взаимодействует с контрактами с помощью библиотеки web3.js, разработанной создателями Ethereum [4]. На рисунке (см. рис. 3) представлена структура системы.

В смарт-контракте прописан алгоритм анализа данных с помощью встроенных функций и выполнения процедуры аутентификации устройства с помощью публичного ключа.

```
function addData(bytes32[] message, bytes32  
hashMessage, uint8 v, bytes32 r, bytes32 s) returns (bool) {  
address sign = ecrecover(hashMessage, v, r, s); // По-  
лучение адреса, с которого пришло сообщение, аутен-  
тификация устройства  
uint index = deviceIndex[sign];  
if (sha256(message) != hashMessage) {  
Error(11, "Ошибка доступа", "Хэш-суммы сообщения  
не совпадают»);  
return false;  
}  
if (index > 0) {  
if (devices[index].active == true) {
```

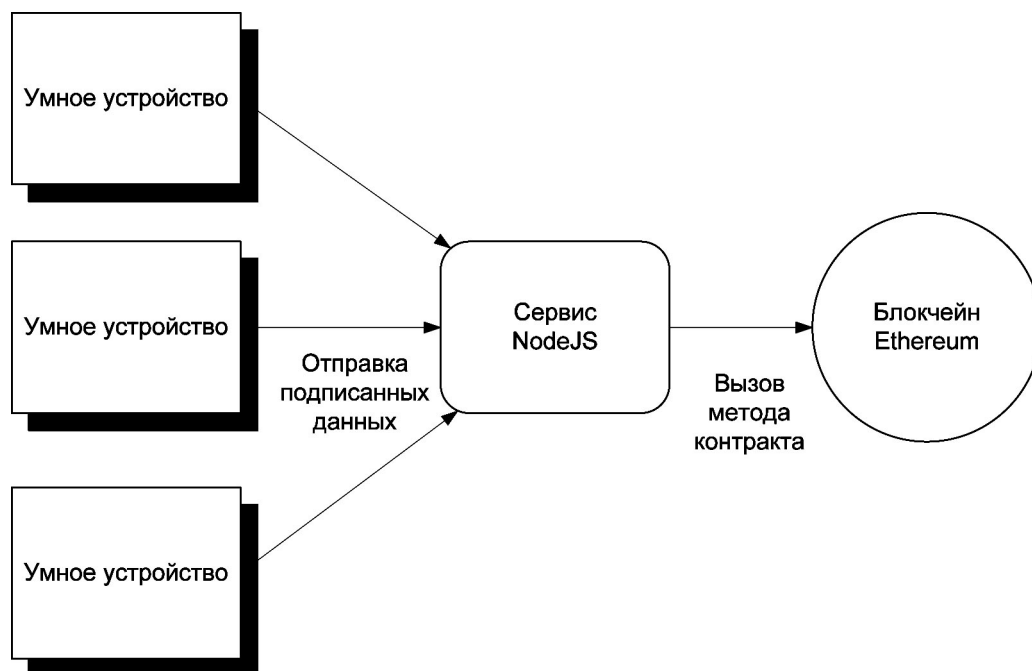


Рисунок 3.
Структура программной системы


```
dataBuf = message;
return true;
} else {
    Error(9, "Ошибка доступа", "Отключенное устройство
отправляет данные");
    return false;
}
} else {
    Error(10, "Ошибка доступа" , "Устройства не суще-
ствует");
    return false;
}
}
```

Если проверка прошла успешно, данные за-
писываются в контракт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассматриваются основные
проблемы безопасности технологии интернета
вещей. Предложен способ защиты передавае-
мых умными устройствами данных с помощью

применения смарт-контрактов блокчейн-плат-
формы Ethereum. Представлена структура
системы, которая обеспечивает безопасность
хранящихся в ней данных и аутентификацию
устройств. Данные, отправляемые с устройств,
сохраняются в блокчейне и не могут быть из-
менены или удалены. Алгоритм аутентифика-
ции реализован в смарт-контракте.

Список литературы:

1. *Практи Н.* Блокчейн. Разработка приложе-
ний. Спб.: БХВ-Петербург. 2018. С. 33.
2. Хэш-алгоритмы. [Электронный ресурс] [https://
habr.com/post/93226](https://habr.com/post/93226). Дата обращения 12.11.2018
3. Как работает блокчейн Ethereum — смарт
контракты и адреса счетов. [Электронный ре-
сурс] [https://mining-cryptocurrency.ru/blokchejn-
ethereum-smart-kontrakty](https://mining-cryptocurrency.ru/blokchejn-ethereum-smart-kontrakty). Дата обращения
12.11.2018
4. Ethereum JavaScript API. [Электронный ре-
сурс] <https://github.com/ethereum/web3.js>. Дата об-
ращения 12.11.2018

УДК 621.384.32

О РАЦИОНАЛЬНОЙ ТАКТИКЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ ПОИСКЕ ОБЪЕКТОВ МЕСТНОСТИ

ОВСЯННИКОВ В.А., ФИЛИППОВ В.Л.

АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», г. Казань

E-mail: gipo@telebit.ru

Аннотация: Представлена методика рационального выбора параметров, характеризующих тактику применения воздушной тепловизионной аппаратуры, – угла обзора и угла визирования, а также высоты и скорости движения ее носителя, – и обеспечивающих максимальную интенсивность поиска объектов на местности при визуальном дешифрировании в режиме реального времени изображений этих объектов. Методика учитывает возможность эпизодического появления объектов и необходимость поддержания заданной результирующей вероятности вскрытия объектов, усредненной по углу обзора.

Ключевые слова: воздушная тепловизионная аппаратура, вероятность вскрытия объектов, параметры движения носителя.

Одной из основных задач, решаемых воздушной тепловизионной аппаратурой (ВТА), является вскрытие – обнаружение и/или распознавание – объектов на подстилающей поверхности в соответствующем динамическом режиме работы, который возникает при ограниченном времени поиска объекта на местности и/или на изображении, при движении ВТА и/или объектов относительно друг друга и/или при вскрытии эпизодически появляющихся объектов, в связи с чем является актуальной проблема повышения эффективности ВТА за счет рационального выбора параметров, характеризующих тактику применения аппаратуры, – угла обзора и угла визирования (угла выноса вперед оси ВТА от надира), а также высоты и скорости движения ее носителя. При этом в качестве показателя эффективности ВТА целесообразно использовать интенсивность поиска – среднее число объектов, вскрываемых в единицу времени в начале поискового про-

цесса, когда эта интенсивность максимальна. Данный показатель, в отличие от среднего времени поиска объектов, обычно рекомендуемого в литературе для использования в этой ситуации, существует всегда и не зависит от кинематики поиска (траектории движения носителя) [1].

Описываемая задача может возникнуть, например, при использовании средств воздушной разведки – обычно беспилотных летательных аппаратов, оснащенных, в частности, всегодичной ВТА, – снабжающих видеoinформацией системы высокоточного оружия [2,3].

Далее предполагается, что носитель ВТА, находящийся на некоторой высоте, движется равномерно и прямолинейно, обеспечивая просмотр наблюдаемой оператором на экране монитора в режиме реального времени подстилающей поверхности. Одновременно поле зрения ВТА периодически перемещается перпендикулярно направлению движения в преде-

лах угла обзора, чем достигается беспропускной мониторинг достаточно широкой в этом случае полосы захвата на местности.

Методика определения оптимальных значений высоты и скорости движения носителя, обеспечивающих максимальную интенсивность поиска постоянно существующих объектов местности при визуальном дешифрировании в реальном времени изображений, формируемых ВТА в смотрящем режиме работы, для заданной вероятности вскрытия этих объектов, усредненной по полю зрения, представлена в работе [4]. Нашей задачей является развитие этой методики применительно к описанному выше смотряще-сканирующему режиму работы с учетом дополнительного фактора – случайного времени существования объектов и дополнительных оптимизируемых параметров, определяющих условия применения ВТА, – угла обзора и угла визирования.

Для интенсивности поиска объекта n_1 , c^{-1} , можно записать следующее общее выражение [1]:

$$n_1 = S_1 P_c P_B P P_{л} / S_{\Sigma}, \quad (1)$$

где S_{Σ} – площадь зоны поиска, $км^2$; S_1 – площадь, обследуемая ВТА в единицу времени, $км^2/с$; P_c – вероятность существования объек-

та – вероятность того, что в момент обследования района местоположения объекта он существует и будет существовать еще в течение времени Δt , необходимого для обработки данных наблюдения и принятия решения о дальнейших действиях по объекту (например, направленных на его поражение); P_B – вероятность визирования – вероятность того, что оператор в результате визуального поиска объекта на изображении за ограниченное время «завизирует» его (будет смотреть на соответствующий фрагмент изображения), а времени этого визирования будет достаточно для возможного вскрытия объекта; P – статическая вероятность вскрытия – вероятность того, что оператор, визируя объект неограниченно долго, вскрыет его; $P_{л}$ – вероятность локализации – вероятность того, что к моменту принятия решения о дальнейших действиях по объекту его расстояние от точки локализации – первоначальной оценки местоположения объекта – не будет превосходить некоторую допустимую величину Δl_0 .

Можно показать [1], что при регулярном (упорядоченном) обследовании зоны поиска с периодом $t_{п}$ вероятность существования объекта P_c , усредненная по этому периоду, составляет:

$$P_c = \frac{1}{t_{п}} \int_0^{t_{п}} [1 - F(t + \Delta t)] dt = \frac{t_c}{t_{п}} \left[1 - \exp\left(-\frac{t_{п}}{t_c}\right) \right] \exp\left(-\frac{\Delta t}{t_c}\right), \quad (2)$$

где t_c – среднее время существования объекта.

Вполне очевидно, что при $t_c = 0$ и $t_c \rightarrow \infty$ значения $P_c = 0$ и $P_c = 1$ соответственно.

На практике вместо t_c обычно используется «время жизни» объекта $t_{ж}$ – интервал времени, для которого вероятность того, что фактическое время существования объекта t будет не меньше $t_{ж}$, равна 0,9. Поскольку значение t есть величина случайная, обычно подчиненная закону распределения, близкому к экспоненциальному с соответствующей функцией распределения $F(t)$, имеющей вид

$$F(t) = 1 - \exp(-t/t_c),$$

из уравнения

$$1 - F(t_{ж}) = \exp(-t_{ж}/t_c) = 0,9$$

находим соотношение между $t_{ж}$ и t_c : $t_c = 9,5 t_{ж}$. Значения $t_{ж}$ для различных наземных объектов варьируются в пределах от нескольких минут (например, транспортная техника на стоянке) до нескольких суток (например, полевой аэродром) [1].

Согласно существующей операциональной модели ВТА [1,5,6], вероятность вскрытия P объекта при визуальном дешифрировании изображений, усредненная по углу обзора, выражается формулой:

$$P = 1 - \exp\left[-0,7\left(\frac{h\gamma}{2CA\vartheta}\right)^2\right]; \quad (3)$$

$$A = D\delta/2x; \quad x = v\delta$$

где h – критический размер объекта – корень квадратный из его видимой площади, м; A – разрешение ВТА на местности, м (полупериод разрешаемой эквивалентной миры); v – угловая частота этой миры, мрад⁻¹; x – относительная частота миры; D – дистанция до объекта в центре полосы захвата, км; C – критерий Джонсона для решаемой задачи вскрытия (в среднем $C = 1$ при выделении – обнаружении на неоднородном фоне, $C = 3$ при классификации и $C = 6$ при идентификации объектов); $\gamma = 0,65-1,5$ – показатель квалификации оператора (от низкой до высокой соответственно); δ – эффективное значение элементарного поля зрения ВТА, определяемое всем ее информационным трактом, мрад; ϑ – поправочный коэффициент, учитывающий снижение вероятности вскрытия

объектов, расположенных на краях полосы захвата ВТА, вследствие увеличения расстояния до них.

Далее считаем, что объект находится на неоднородном фоне, а время его поиска ограничено. В данном случае для обеспечения поиска и наблюдения объектов требуется достаточно широкий диапазон регистрируемой разности температур, и, следовательно, ВТА, обычно имеющая достаточно малое значение разности температур, эквивалентной шуму, является контрастно-ограниченной аппаратурой, эффективность которой лимитируется не отношением сигнал/шум, а контрастной чувствительностью зрительного анализатора оператора. При этом значение относительной частоты x разрешаемой эквивалентной миры в (3) находится из общей для всех образцов ВТА относительной температурно-частотной характеристики $E(x)$, наиболее простая аппроксимация которой имеет вид [5,6]:

$$|\Delta T_R| \tau_a K_m / \Delta T_m = 0,79\mu \exp[(305\xi / \Gamma^2 \delta^2 + 5,97)x^2] = E(x); \quad (4)$$

$$K_m = (L'_2 - L'_1) / (L'_2 + L'_1); \quad \Gamma = \alpha \delta'_0 / \delta_0; \quad \alpha = a / \Delta a,$$

где ΔT_R – тепловой контраст объекта – разность радиационных температур объекта и фона, К; τ_a – коэффициент пропускания атмосферы в спектральном рабочем диапазоне ВТА на трассе до объекта; ΔT_m – диапазон регистрируемой разности радиационных температур, К, определяемый рабочим диапазоном яркости монитора $\Delta L'_m = L'_2 - L'_1$, кд/м²; K_m – коэффициент сохранения контраста для протяженного объекта, при $L'_2 \gg L'_1$ близкий к 1; Γ – видимое увеличение ВТА – отношение угловых размеров изображения объекта и самого объекта; δ_0 – элементарное поле зрения ВТА, мрад; $\delta'_0 = 0,8^{-1}$ мрад – угловой размер элемента изображения, соответствующий шагу элементов фотоприемника; α – коэффициент заполнения фотоприемника по одной координате; a и Δa – размер и шаг элементов фотоприемника соответственно, мкм; μ , ξ – параметры аппроксимирующей функции порогового контраста зрительного анализатора, характери-

зующей его контрастную чувствительность, зависящие от углового размера изображения эквивалентной миры w' и яркости изображения фона L' . Зависимости $\mu = f(w')$ и $\xi = f(w')$ для ряда типовых значений L' , равных 0,6 кд/м² (дешифрирование изображения в темноте), 10 кд/м² (в полутьме) и 100 кд/м² (на свету), приведены в [6,7].

Угловой размер изображения миры w' , град, равен:

$$w' = \Gamma h \cos \alpha / 17,45H, \quad (5)$$

где H – высота носителя, км; α – угол визирования, град.

При этом типовые значения w' составляют: 0,1-0,15°, 0,4-0,5° и 0,8-1° при выделении, классификации и идентификации объекта соответственно.

Для обеспечения поиска и вскрытия объектов с положительным или отрицательным тепловым контрастом, локализованных соответственно на горбах или впадинах темпе-

ратурных фоновых неоднородностей, диапазон регистрируемой разности температур ΔT_m должен быть достаточно широким. Для ВТА, находящейся на фиксированной высоте, все объекты местности располагаются в довольно узком интервале дистанций до них и диапазон ΔT_m , согласно рекомендациям, например, автора [8], должен удовлетворять условию:

$$\Delta T_m = m \Delta T_R \tau_a; \quad m = 6 - 10,$$

чем обеспечивается приемлемый контраст изображения этих объектов практически независимо от их удаления. При этом большее значение m следует использовать при поиске и выделении объектов, а меньшее – при их распознавании.

Тогда из (4) для относительной частоты x получаем, принимая, что обычно отношение $\alpha^2 \delta / \delta_0$ близко к 1, выражение:

$$x = \sqrt{\ln(1,27 K_m / m \mu) / (305 \xi \alpha^2 / \delta_0^2 + 5,97)}. \quad (6)$$

$$t_H = \frac{\beta_c [\operatorname{tg}(\alpha + \beta_k) - \operatorname{tg}(\alpha - \beta_k)] H}{(\beta - \beta_c) V} \approx \frac{2\beta_k 2\beta_c H}{57,3 \cdot 2\beta V \cos^2 \alpha} \quad (9)$$

где $2\beta_c \times 2\beta_k$ – поле зрения ВТА по строке (по горизонтали) и кадру (по вертикали), град.

Эффективность зрительного поиска объектов, определяемая вероятностью P_B , зависит от большого количества факторов, прежде всего – от характеристик искомого объекта (его размера и контраста), поля поиска и условий наблюдения. Большую роль играют также степень неоднородности (пестрота) фона, опыт и когнитивные (познавательные) способности оператора и др.

Практически все известные модели для прогнозирования зависимости вероятности визирования P_B от времени поиска построены в предположении случайного характера зрительного поискового процесса в течение времени t_H , и общепринято, что эта зависимость имеет вид [1,6]:

$$P_B = 1 - \exp(-t_H / \tau), \quad (10)$$

где τ – среднее время поиска объекта на изображении, отвечающем полю зрения ВТА, с.

Для расчета τ можно воспользоваться предложенной в [1,6] достаточно точной и простой математической моделью, согласно которой

Входящая в формулу (1) площадь местности S_1 , км²/с, обследуемая ВТА в единицу времени, очевидно, составляет:

$$S_1 = 2HV \operatorname{tg} \beta / \cos \alpha, \quad (7)$$

где V – скорость носителя, км/с; 2β – угол обзора, град,

и, значит, период поиска t_H в (2) равен:

$$t_H = S_\Sigma / S_1 = S_\Sigma \cos \alpha / (2HV \operatorname{tg} \beta). \quad (8)$$

Вероятность визирования P_B характеризует эффективность визуального поиска оператором объекта на изображении за время, приблизительно равное времени t_H , с, нахождения объекта на экране монитора ВТА, которое при беспрерывном просмотре полосы захвата и одинаковом времени наблюдения изображения при любом положении поля зрения ВТА дается формулой (при $\beta > 2\beta_c$):

при поиске объекта, скорость движения которого значительно меньше скорости ВТА, это время равно:

$$\tau = \frac{1,8 \cdot 10^{-4} A C_B \gamma_M \vartheta n_c n_k}{h \gamma_{об}}, \quad (11)$$

где $C_B = 0,75-3$ – значение критерия Джонсона, отвечающее выделению объекта, сильно зависящее от степени неоднородности фона; $n_c \times n_k$ – формат (число элементов) изображения по строке и кадру; $\gamma_{об}$ – коэффициент, учитывающий уменьшение времени поиска для движущегося объекта, определяемый угловой скоростью движения изображения объекта относительно фона $\theta_{об}'$, рад/с; γ_M – коэффициент, характеризующий эффект мобилизации поисковых усилий оператора при обнаружении объекта на движущемся изображении, связанный с угловой скоростью этого движения $\theta_{и}'$, рад/с.

Коэффициенты $\gamma_{об}$ и γ_M оцениваются по приближенным формулам [1,6]:

$$\begin{aligned} \gamma_{об} &= 1 + 1,5 \cdot 10^3 \theta_{об}'^2; \\ \gamma_M &= 0,5 [1 + \exp(-25 \theta_{и}')] . \end{aligned} \quad (12)$$

При этом значения $\theta'_{об}$ и $\theta'_и$ равны:

$$\begin{aligned}\theta'_{об} &= \Gamma V_{пр} \cos \alpha / H; \\ \theta'_и &= \Gamma 2\beta V \cos^2 \alpha / 2\beta_k H,\end{aligned}\quad (13)$$

где $V_{пр}$ – проекция вектора скорости движения объекта на плоскость, перпендикулярную линии визирования, км/с.

Значения числа элементов изображения n_c и n_k в (11), отвечающие полю зрения ВТА, составляют:

$$\begin{aligned}n_c &= 17,45 \ 2\beta_c \varphi / \delta_0; \\ n_k &= 17,45 \ 2\beta_k \varphi / \delta_0.\end{aligned}\quad (14)$$

Тогда для вероятности визирования P_b , с учетом (9)-(14) и соотношения $A = H\delta/2x\cos\alpha = H\delta_0/2x\varphi^2\cos\alpha$, получаем приближенное выражение:

$$P_b = 1 - \exp\left(-\frac{0,64hx\gamma\gamma_{об}\delta_0}{2\beta C_b \varphi \gamma_M V \cos\alpha}\right).\quad (15)$$

Вероятность локализации P_l объекта существенно зависит от скорости $V_{об}$ объекта, интервала времени Δt между моментами контакта оператора ВТА с объектом и принятием по нему соответствующего решения, а также от среднеквадратического отклонения (СКО) σ оценки его координат в результате первичного поиска.

Предположим, что объект поиска может двигаться с некоторой скоростью $V_{об}$ в любом из возможных направлений земной поверхности с равной вероятностью. Тогда плотность вероятности того, что этот объект через время Δt после его обнаружения окажется на расстоянии l от центра распределения (оценки локализации объекта, найденной при первичном поиске), будет характеризоваться законом Релея-Райса [9]:

$$w(l) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{l^2 + V_{об}^2 \Delta t^2}{2\sigma^2}\right] I_0\left(\frac{lV_{об}\Delta t}{\sigma^2}\right),$$

где $I_0(\cdot)$ – модифицированная функция Бесселя 1 рода нулевого порядка.

Требования к точности оценки местоположения объекта в момент принятия решения зависят от ряда факторов и определяются прежде всего тем, в интересах чего ведется поиск и вскрытие объектов. Так, допустимое СКО оценки координат целей σ для обеспечения применения высокоточного оружия не должно превышать [3] $\sigma_0 = 3-4$ м, а при использовании ствольной артиллерии оно может быть на порядок больше. Поэтому считаем, что максимальная допустимая ошибка оценки местоположения объекта в момент принятия решения по нему задана и равна $\Delta l_0 = 3\sigma_0$.

Тогда вероятность P_l можно интерпретировать как вероятность попадания точки, координаты которой подчинены двумерному нормальному распределению с СКО σ , в круг радиусом Δl_0 , центр которого смещен относительно центра распределения координат этой точки на расстояние $V_{об}\Delta t$ [9]. Следовательно, искомая вероятность P_l составляет:

$$P_l = 2\pi \int_0^{\Delta l_0} w(l) l dl.$$

Этот интеграл через элементарные функции не выражается, поэтому формулу для P_l запишем в виде:

$$P_l = W(\zeta, \eta); \quad \zeta = \Delta l_0 / \sigma; \quad \eta = V_{об}\Delta t / \sigma,$$

где $W(\zeta, \eta)$ – функция, табулированная, например, в [10].

Для малых значений $z = \zeta\eta < 1$ известна аппроксимация $I_0(z) \approx \exp(z^2/4)$, и тогда имеет место приближение:

$$P_l = \exp\left(-\frac{\eta^2}{2}\right) \left[1 - \exp\left[-\left(1 - \frac{\eta^2}{2}\right) \frac{\zeta^2}{2}\right] \right] / \left(1 - \frac{\eta^2}{2}\right).$$

В случае неподвижного объекта ($\eta = 0$) справедлива точная формула [9]:

$$P_l = 1 - \exp(-\beta\zeta^2/2).$$

Из анализа полученных выражений вытекает, что существуют оптимальные значения высоты и скорости движения носителя ВТА, а

также угла обзора и угла визирования, обращающие интенсивность поиска n_1 в максимум. При этом необходимо, чтобы результирующая вероятность вскрытия объекта (с учетом поиска), равная $P_\Sigma = P_B P$, удовлетворяла условию $P_\Sigma \geq P_0$, где P_0 – минимальное допустимое значение вероятности P_Σ .

Для нахождения этого максимума перепишем выражения (3) и (15) следующим образом:

$$P = 1 - \exp\left[-\left(\frac{Q \cos \alpha}{H \vartheta}\right)^2\right];$$

$$P_B = 1 - \exp\left(-\frac{B}{2\beta V \vartheta \cos \alpha}\right); \quad (16)$$

$$Q = \frac{0,83 h x \gamma}{C \delta} = \frac{0,83 h \alpha^2 x \gamma}{C \delta_0};$$

$$B = \frac{0,64 h x \gamma \gamma_{об} \delta_0}{C_B \gamma_M}. \quad (17)$$

С целью упрощения аналитического решения задачи на первом шаге оптимизации примем, что значение x является фиксированным, не зависящим от искомых значений параметров H и V и равным, например, $x = 0,75$. Аналогично вначале можно считать, что коэффициенты $\gamma_{об} = 1$, а $\gamma_M = 0,5$, что отвечает практически неподвижному объекту и достаточно высокой угловой скорости движения изображения местности.

Вводя параметр $g = H/Q$, выразим из (16) скорость носителя V :

$$V = \frac{B}{-\ln\left[1 - P_0 / \left(1 - \exp(-\cos^2 \alpha / \vartheta^2 g^2)\right)\right] 2\beta \vartheta \cos \alpha} \quad (18)$$

и подставим (18) в (1). Тогда после преобразований с учетом (2), (7), (8) получаем следующее выражение для интенсивности поиска n_1 :

$$n_1 = M q^2 [1 - \exp(-R/q)]; \quad M = B^2 Q^2 P_0 P_n t_c \exp(-\Delta t / t_c) / S_\Sigma^2. \quad (19)$$

где

$$R = S_\Sigma / B Q t_c; \quad q = \frac{g t g \beta}{-\ln\left[1 - P_0 / \left(1 - \exp(-\cos^2 \alpha / \vartheta^2 g^2)\right)\right] \beta \vartheta \cos^2 \alpha}. \quad (20)$$

При этом, как показывает анализ результатов [4,6], для объемных объектов, видимая площадь которых от угла визирования практически не зависит, значение коэффициента ϑ в (20) можно оценить по формуле $\vartheta = \exp(3,4 \cdot 10^{-8} \beta^4)$.

Здесь считается, что, несмотря на перекрытие смежными в направлении движения носителя полями зрения ВТА участков местности, расположенных на краях полосы захвата, высокая степень корреляции решений любого данного оператора по вскрытию одного и того же объекта в соответствующих кадрах обуславливает практическое отсутствие прироста вероятности вскрытия объекта в этих кадрах, поскольку указанная вероятность определяется не шумом прибора, а разбросом дешифровочных возможностей разных операторов.

В частности, для постоянно существующего объекта ($t_c \rightarrow \infty$) вместо (19), совершая предельный переход, получаем:

$$n_1 = M q R = B Q P_0 P_n q / S_\Sigma.$$

Найдем для каждого значения требуемой результирующей вероятности вскрытия P_0 соответствующие значения g , α и 2β , обращающие значение n_1 в (19) в максимум. При этом оказалось, что искомое значение угла обзора $2\beta = 72^\circ$, а угла визирования $\alpha \rightarrow 90^\circ$ независимо от значений P_0 и R . Однако практически угол α выбирается исходя из необходимости вскрытия объектов, расположенных, например, за растительностью или складками рельефа местности, и обычно не превышает $\alpha = 60^\circ$. Зависимости оптимального значения $g = f(P_0)$, общие для любых значений параметра R , и соответ-

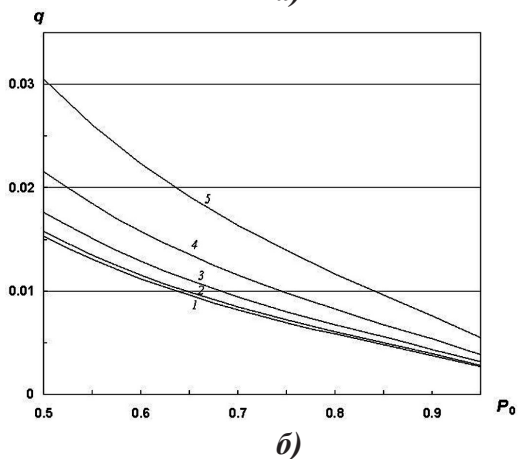
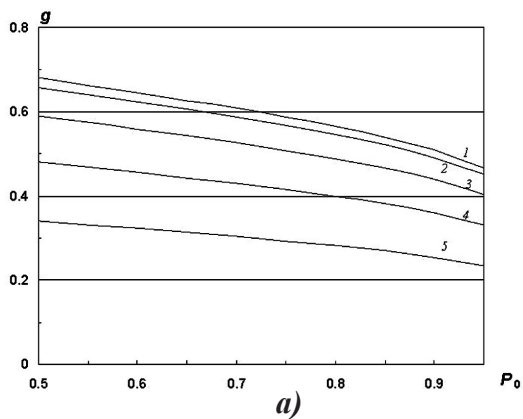


Рисунок 1.

Зависимости оптимальных значений параметров g (а) и q (б) от минимальной допустимой результирующей вероятности вскрытия объектов P_0 для ряда значений угла α при $2\beta = 72^\circ$ (1 – $\alpha = 0^\circ$; 2 – $\alpha = 15^\circ$; 3 – $\alpha = 30^\circ$; 4 – $\alpha = 45^\circ$; 5 – $\alpha = 60^\circ$)

ствующие, согласно (20), зависимости $q = f(P_0)$ приведены для $2\beta = 72^\circ$ и ряда значений угла α на рис. 1. Аналогичные зависимости $g = f(P_0)$ и $q = f(P_0)$ для углов визирования $\alpha = 0$ и 60° и ряда типовых значений угла обзора 2β , отличных от 72° , представлены на рис. 2. Отвечающие найденным значениям g и q оптимальные значения высоты H и скорости V носителя, с учетом (18), находятся по формулам:

$$H = Qg; \quad V = Bq \cos \alpha / (2gtg\beta). \quad (21)$$

Далее для полученных значений V и H следует скорректировать величину w' по (5) и соответствующее значение x по (6), а также коэффициенты $\gamma_{об}$ и γ_m по (12)-(13), после чего заново рассчитать по (17) значения Q и B и далее, по (21), новые, уточненные значения оптимальной высоты и скорости носителя.

Таким образом, оптимальные значения вы-

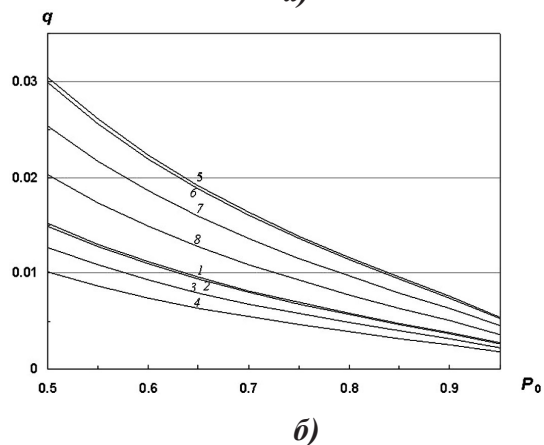
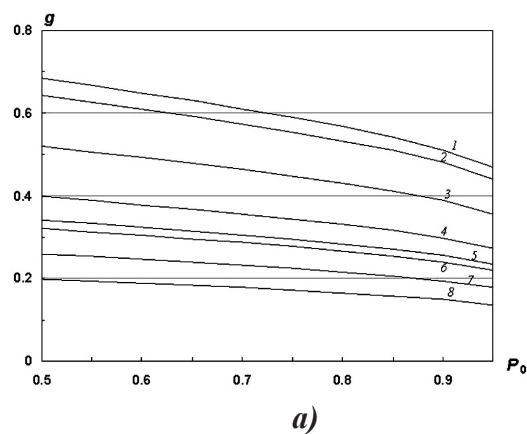


Рисунок 2.

Зависимости оптимальных значений параметров g (а) и q (б) от минимальной допустимой результирующей вероятности вскрытия объектов P_0 для ряда значений углов α и 2β (1 – $\alpha = 0^\circ, 2\beta = 70^\circ$; 2 – $\alpha = 0^\circ, 2\beta = 90^\circ$; 3 – $\alpha = 0^\circ, 2\beta = 120^\circ$; 4 – $\alpha = 0^\circ, 2\beta = 140^\circ$; 5 – $\alpha = 60^\circ, 2\beta = 70^\circ$; 6 – $\alpha = 60^\circ, 2\beta = 90^\circ$; 7 – $\alpha = 60^\circ, 2\beta = 120^\circ$; 8 – $\alpha = 60^\circ, 2\beta = 140^\circ$)

соты и скорости носителя, а также угла визирования и угла обзора, характеризующих тактику применения ВТА, от среднего времени существования объектов не зависят. При этом оптимальное значение угла визирования составляет 90° независимо от требуемой результирующей (с учетом поиска) вероятности вскрытия объекта, однако для обеспечения возможности наблюдения объектов, находящихся за экранирующими элементами ландшафта, этот угол целесообразно ограничить значением 60° .

С увеличением требуемой результирующей вероятности вскрытия объектов и угла обзора оптимальные значения высоты и скорости носителя уменьшаются, увеличение же угла визирования приводит к снижению оптимальной высоты, но к возрастанию оптимальной скорости носителя ВТА.

Список литературы:

1. *Иванов В.П., Курт В.И., Овсянников В.А., Филиппов В.Л.* Моделирование и оценка современных тепловизионных приборов. – Казань: Отечество, 2006. – 595 с.
2. *Бабичев В.И., Игнатов А.В., Степаничев И.В.* О перспективах развития разведывательно-информационных средств артиллерийского высокоточного оружия // Вооружение. Политика. Конверсия. – 2011. – № 2. – С. 3-7.
3. *Краснов А., Смоловский В.* Воздушная разведка в интересах применения высокоточного оружия // Зарубежное военное обозрение. – 1994. – № 3. – С. 32-35.
4. *Овсянников В.А., Овсянников Я.В., Филиппов В.Л.* Оптимизация параметров движения носителя поисковой воздушной тепловизионной аппаратуры // Оборонная техника. – 2014. – № 1-2. – С. 41-51.
5. *Балоев В.А., Овсянников В.А.* Современные операциональные модели тепловизионных приборов при обнаружении и распознавании объектов // Оборонная техника. – 2017. – № 3. – С. 38-54.
6. *Балоев В.А., Ильин Г.И., Овсянников В.А., Филиппов В.Л.* Эффективность, помехозащищенность и помехоустойчивость видовых оптико-электронных систем. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2015. – 424 с.
7. *Овсянников В.А., Овсянников Я.В.* Развитие методологии натурных испытаний тепловизионных приборов на дальность действия // Контенант (наст. выпуск).
8. *Holst G.* Electro-optical imaging system performance. 3 ed. – US: SPIE press, 2003. – 442 p.
9. *Абчук В.А., Суздаль В.Г.* Поиск объектов. – М.: Сов. радио, 1977. – 336 с.
10. *Абезгауз Г.Г., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н., Коровина И.А.* Справочник по вероятностным расчетам. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.

К РАЗВИТИЮ МЕТОДОВ СТЕНДОВОЙ АТТЕСТАЦИИ НЕСКАНИРУЮЩИХ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ

ОВСЯННИКОВ В.А., ОВСЯННИКОВ Я.В., ФИЛИППОВ В.Л.

АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», г. Казань

E-mail: gipo@telebit.ru

Аннотация: *Выполнен критический анализ методов экспериментальной оценки разности температур, эквивалентной шуму, и функции передачи модуляции несканирующих тепловизионных приборов, использующих матричные фотоприемники. Сформулированы предложения по развитию и упрощению этих методов, в том числе по методикам пересчета данных характеристик с условий аттестации приборов на реальные условия их функционирования.*

Ключевые слова: тепловизионный прибор, измерение основных характеристик.

Успехи микроэлектроники и полупроводниковой технологии стимулировали на рубеже веков появление на мировом рынке коммерчески доступных вначале квантовых охлаждаемых, а затем и тепловых неохлаждаемых матричных фотоприемников, использование которых позволило современному оптико-электронному приборостроению сделать качественный скачок в решении все расширяющегося круга военных и гражданских задач. Построенные на основе этих фотоприемников несканирующие, или «смотрящие», тепловизионные приборы (ТВП) последних поколений различного класса и назначения, обладающие высокими потребительскими свойствами и новыми возможностями, имеют целый ряд специфических особенностей, неучет которых может привести к существенному отличию расчетных оценок эффективности данных ТВП от получаемых экспериментально. Важнейшими такими особенностями являются появление пространственного шума, вызванного остаточной (после коррекции) неоднородностью чувствительности элементов фотоприемника, и наличие выборки (дискретизации сигналов) в обоих направлениях, что вызывает необходимость

соответствующей модификации традиционных методов экспериментальной оценки основных технических параметров и характеристик ТВП [1].

Основной характеристикой ТВП, от которой зависит его эффективность при обнаружении и распознавании объектов, является температурно-частотная характеристика, что и обуславливает необходимость ее определения. Однако в контрастно-ограниченном режиме, обычном для современных высокочувствительных, в том числе несканирующих, ТВП, в котором их эффективность ограничивается не шумом прибора, а контрастной чувствительностью зрительного анализатора оператора, коэффициент усиления видеосигналов и, следовательно, контраст изображения не связаны с еще приемлемым для оператора уровнем зашумленности изображения, лимитирующим диапазон изменения этого коэффициента, и вариации зависящей от него температурно-частотной характеристики значительно больше, чем для ТВП, работающего в шумо-ограниченном режиме, в котором изменение коэффициента усиления вызывает соответствующее изменение уровня видимого шума [2]. Поэтому при измерении температурно-частотной характери-

стики, когда мира, расположенная в фокальной плоскости коллиматора, по сути, находится на однородном фоне, следует, отключив устройство автоматической регулировки усиления, выбирать значения коэффициента усиления видеосигнала и соответствующего ему контраста изображения мира не максимально высокими, как это обычно делается для уменьшения разрешаемой разности температур для каждой данной угловой частоты мира, а отвечающими наблюдению объектов на реальном неоднородном фоне, соответствующими требуемому диапазону регистрируемой разности температур ΔT_m . Отсюда вытекает, что измеренная в стендовых условиях температурно-частотная характеристика контрастно-ограниченного ТВП, зависящая от диапазона ΔT_m , выбор которого, в свою очередь, связан с конкретной фоно-целевой обстановкой, в общем случае не является уникальной, однозначной характеристикой и, значит, не определяет в достаточно полной степени эффективности данного ТВП. Для использования температурно-частотной характеристики, например, с целью прогноза дальности действия ТВП в произвольных условиях следует иметь целую совокупность этих характеристик, отвечающих разным значениям ΔT_m , или применять расчетную температурно-частотную характеристику, которая формируется на основе измеренных значений разности температур, эквивалентной шуму ΔT_0 , и функции передачи модуляции (ФПМ) $K(\nu)$ прибора; при этом реализуется объективная, хотя и косвенная, оценка этой характеристики и, тем самым, разрешается противоречие между принципиальной субъективностью температурно-частотной характеристики и возможностью ее объективной оценки. В связи с изложенным, нашей задачей является критический анализ известных из современной литературы методов измерения ΔT_0 и $K(\nu)$ несканирующих ТВП и дальнейшее развитие и упрощение этих методов.

Измерение разности температур, эквивалентной шуму. Разность температур, эквивалентная шуму ΔT_0 , К, – это разность радиационных температур протяженного объекта и фона при нормированной температуре T_0

(обычно 295 К), создающая без учета пропускания атмосферы на выходе ТВП отношение сигнал/шум, равное 1. Значение ΔT_0 , в свою очередь, определяется разностями температур, эквивалентных временному $\Delta T_{в0}$, К, и пространственному $\Delta T_{п0}$, К, шуму. Целесообразность раздельного указания значений $\Delta T_{в0}$ и $\Delta T_{п0}$ обусловлена тем, что данные величины по-разному и даже разнонаправленно зависят от фактической температуры фона и, следовательно, правила пересчета их на эту температуру, отличную от нормированной, различны [1]. Отметим, что в зарубежной научно-технической литературе параметр ТВП ΔT_0 может называться и иначе: тепловая чувствительность (thermal sensitivity) или тепловое разрешение (thermal resolution) [3].

Для полного описания пространственно-временного шума, имеющего местовнесканирующих ТВП, ранее была разработана соответствующая модель [4,5]. Согласно данной модели, трехмерный (по двум пространственным и одной временной координате) шум фотоприемника состоит из следующих компонентов с соответствующими среднеквадратическими отклонениями (СКО):

- временной шум элементов ($\sigma_{в}$);
- пространственно-временной шум столбцов («дождь») ($\sigma_{пв1}$);
- пространственно-временной шум строк («хвосты») ($\sigma_{пв2}$);
- временной шум матрицы (мерцание кадров) ($\sigma_{вм}$);
- пространственный шум элементов (пятнистость) ($\sigma_{п}$);
- пространственный шум столбцов (вертикальные линии) ($\sigma_{п1}$);
- пространственный шум строк (горизонтальные линии) ($\sigma_{п2}$).

Считается, что все компоненты шума независимы, и тогда СКО суммарного шума σ составляет:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{в}^2 + \sigma_{пв1}^2 + \sigma_{пв2}^2 + \sigma_{вм}^2 + \sigma_{п}^2 + \sigma_{п1}^2 + \sigma_{п2}^2}.$$

При этом значение $\sigma_{в}$, определяющее величину $\Delta T_{в0}$, может быть рассчитано теоретически, а для оценки СКО остальных составляющих шума необходимы соответствующие экспериментальные измерения.

Однако не все отмеченные компоненты шума фотоприемника одинаково существенны, и, как показал анализ, для современных несканирующих ТВП имеет значение и, следовательно, подлежит измерению лишь СКО временного шума σ_v и СКО пространственного шума σ_n элементов, которое в типовых случаях составляет ~40% от σ_v [5]. Следовательно, при оценке результирующей разности температур, эквивалентной шуму ΔT_0 , этих ТВП, вообще говоря, необходимо учитывать наличие в приборе не только временного, но и независимого от него пространственного шума, который, в отличие от временного, коррелирован в смежных кадрах.

Измерение СКО временного σ_v и пространственного σ_n шума несканирующих ТВП рекомендуется выполнять в следующем порядке [4,6,7]. В фокальную плоскость коллиматора помещается тест-объект – протяженный источник излучения с нормированной температурой $T_0 = 295$ К и известным коэффициентом излучения ϵ в спектральном рабочем диапазоне $\Delta\lambda$, достаточно близким к 1, имитирующий удаленный равноизлучающий фон, на который и фокусируется испытуемый ТВП. Устройство автоматической регулировки усиления прибора отключается (при сохранении постоянной составляющей выходных сигналов). Далее выделяется небольшая центральная часть

фотоприемника, охватывающая, например, область $n = 100 \times 100$ элементов, – для уменьшения систематической погрешности измерений, связанной со снижением облученности периферийных элементов фотоприемника согласно известному закону $\cos^4\beta$, где β – угол визирования от нормали. Выходные сигналы ТВП U_{ij} , возникающие при визировании этого тест-объекта в i -ом кадре ($i = 1, 2, 3, \dots, m$) на j -ом элементе фотоприемника ($j = 1, 2, 3, \dots, n$), подаются на высокочастотный фильтр, пропускающий лишь сигналы на частотах свыше 150 кГц (~3% от ширины полосы пропускания), – для подавления низкочастотного шума-тренда, а затем при необходимости клиппируются (обрезаются по некоторому уровню) для устранения служебных сигналов (рис. 1).

Затем из сигналов U_{ij} , отвечающих n элементам каждого кадра, вычитаются усредненные за $m \approx 100$ кадров соответствующие им сигналы U_j , определяемые как

$$U_j = (1/m) \sum_{i=1}^m U_{ij} \quad ,$$

чем практически исключается пространственный шум. Полученные при этом для каждого j -го элемента фотоприемника в i -ом кадре разностные сигналы, равные $\Delta U_{ij} = U_{ij} - U_j$, общим числом mn подвергаются рутинной статистической обработке, имеющей целью расчет значе-

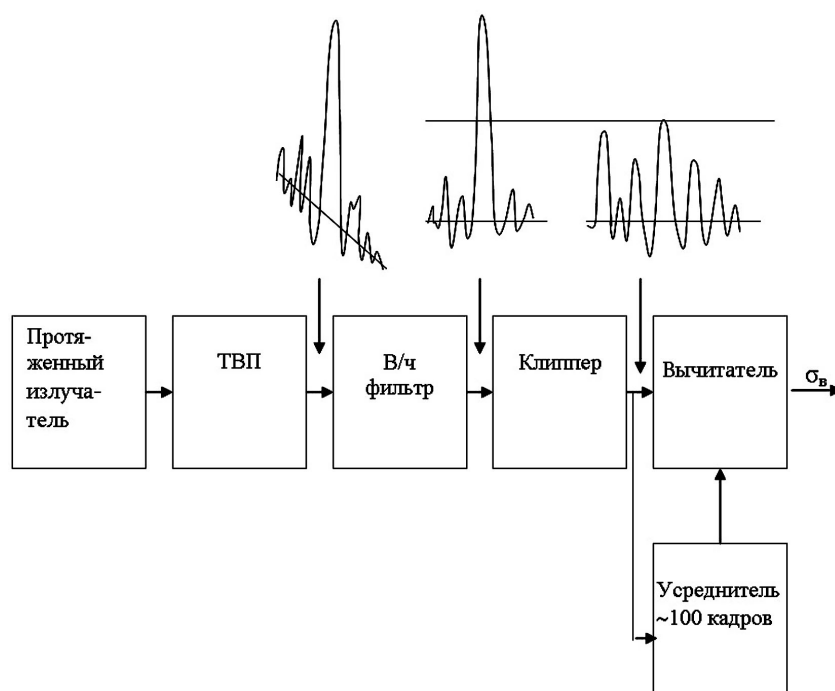


Рисунок 1.

Схема измерения СКО временного шума σ_v .

$$\sigma_{\text{в}} = \left[\left(mn \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Delta U_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Delta U_{ij} \right)^2 \right) / mn(mn - 1) \right]^{1/2}.$$

Для освобождения от влияния пространственного шума можно также, как это регламентировано в [8], оперировать разностью сигналов $\Delta U_j = U_{1j} - U_{2j}$, снимаемых с каждого j -го элемента фотоприемника в двух смежных кадрах ТВП. При этом, поскольку среднеквадратическое отклонение этой разности в $\sqrt{2}$ раз больше такового для самих сигналов, расчет значения $\sigma_{\text{в}}$ выполняется по формуле:

$$\sigma_{\text{в}} = 0,71 \left[\sum_{j=1}^n \Delta U_j^2 / (n - 1) \right]^{1/2}.$$

При оценке среднеквадратического отклонения $\sigma_{\text{н}}$ выходные сигналы U_{ij} ТВП сначала усредняются за $m \approx 100$ кадров, чем устраняется временной шум, а затем проходят тот же высокочастотный фильтр и клиппер (рис. 2).

Полученные усредненные значения сигналов U_j , отвечающие каждому j -му элементу фотоприемника, обрабатываются таким же образом:

$$\sigma_{\text{н}} = \left[\left(n \sum_{j=1}^n U_j^2 - \left(\sum_{j=1}^n U_j \right)^2 \right) / n(n - 1) \right]^{1/2}.$$

$$\sigma = \left[\left(mn \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n U_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n U_{ij} \right)^2 \right) / mn(mn - 1) \right]^{1/2}$$

Тогда среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\text{н}}$ пространственного шума будет равно:

$$\sigma_{\text{н}} = \sqrt{\sigma^2 - \sigma_{\text{в}}^2}.$$

Далее определяется крутизна передаточной функции сигнала dU/dT_R – отношение прираще-

Еще один метод оценки значений $\sigma_{\text{в}}$ и $\sigma_{\text{н}}$ заключается в том, что вначале измеряются среднеквадратические отклонения σ_j выходных сигналов U_{ij} , отвечающие каждому j -му элементу фотоприемника согласно формуле

$$\sigma_j = \left[\left(m \sum_{i=1}^m U_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^m U_{ij} \right)^2 \right) / m(m - 1) \right]^{1/2},$$

которые после усреднения соответствующих им дисперсий по всем n элементам фотоприемника определяют значение $\sigma_{\text{в}}$:

$$\sigma_{\text{в}} = \left((1/n) \sum_{j=1}^n \sigma_j^2 \right)^{1/2}.$$

Обычная статистическая обработка всех подряд значений выходных сигналов U_{ij} каждого j -го элемента фотоприемника в каждом i -ом кадре дает среднеквадратическое отклонение σ суммарного шума:

ния выходного сигнала, измеряемого в тех же единицах, что и СКО шума, к соответствующему малому приращению радиационной температуры тест-объекта. Поскольку на практике для удобства и повышения точности измерений приращение температуры тест-объекта δT выбирается достаточно большим, фактиче-



Рисунок 2.
Схема измерения СКО пространственного шума $\sigma_{\text{н}}$

ски полученное вместо dU/dT_R отношение $\delta U/\delta T$ нуждается в коррекции, обусловленной нелинейной зависимостью изменения энергетической светимости тест-объекта от соответствующего изменения его температуры, а также отличием его коэффициента излучения ε от 1:

$$dU/dT_R = (\delta U/\delta T)/\alpha\varepsilon\tau_k; \quad \alpha = (M - M_0)/Y_0\delta T; \quad T = T_0 + \delta T;$$

$$M = \int_{\Delta\lambda} M(\lambda, T)S(\lambda)d\lambda; \quad Y = dM/dT = (1,44 \cdot 10^4 / T^2) \int_{\Delta\lambda} M(\lambda, T)S(\lambda)d\lambda/\lambda, \quad (1)$$

где $M(\lambda, T)$ – спектральная плотность энергетической светимости черного тела при температуре T , определяемая формулой Планка, Вт/(см²·мкм); M – энергетическая светимость черного тела при температуре T в диапазоне $\Delta\lambda$, Вт/см²; Y – производная от энергетической светимости черного тела при температуре T по температуре в диапазоне $\Delta\lambda$, Вт/см²К; M_0, Y_0 – значения M и Y соответственно при температуре $T = T_0$; $S(\lambda)$ – относительная спектральная чувствительность фотоприемника; α – поправочный коэффициент; τ_k – средний коэффициент пропускания объектива коллиматора в диапазоне $\Delta\lambda$.

Как показывает анализ выражения (1), зависимости коэффициента $\alpha = f(\delta T)$ от приращения температуры тест-объекта δT для типовых зависимостей $S(\lambda)$, характерных для квантовых фотоприемников на InSb ($\Delta\lambda = 3-5$ мкм) и HgCdTe ($\Delta\lambda = 8-12$ мкм), а также для тепловых фотоприемников с неселективной спектральной чувствительностью ($S(\lambda) = 1$), обычно работающих в диапазоне $\Delta\lambda = 8-14$ мкм, имеют следующий общий вид (для $\delta T < 16-18$ К):

$$\alpha = \begin{cases} 1 + 0,0167\delta T & \text{для } \Delta\lambda = 3 - 5 \text{ мкм;} \\ 1 + 0,00555\delta T & \text{для } \Delta\lambda = 8 - 12 \text{ и } 8 - 14 \text{ мкм.} \end{cases}$$

При этом найдено, что коэффициент α практически не зависит от температуры тест-объекта в пределах 290-300 К.

Искомые значения $\Delta T_{в0}, \Delta T_{п0}$ и ΔT_0 вычисляются по формулам:

$$\Delta T_{в0} = \frac{\sigma_{в}}{dU/dT_R}; \quad \Delta T_{п0} = \frac{\sigma_{п}}{dU/dT_R}; \quad \Delta T_0 = \sqrt{\Delta T_{в0}^2 + \Delta T_{п0}^2}. \quad (2)$$

Здесь учтено, что для описания несканирующих ТВП используется динамическая температурно-частотная характеристика, которая определяется при поперечном движении миры относительно ТВП или наоборот. При этом за счет инерции зрительного анализатора фазовые эффекты усредняются и оператор может практически с равным успехом разрешить на изображении все четыре полосы миры. Данная характеристика, в отличие от статической, однозначна, монотонна и не ограничена частотой Найквиста, что обеспечивает более точный прогноз эффективности ТВП при вскрытии объектов местности. Пространственный шум, вызванный остаточным разбросом чувствительности элементов фотоприемника, в этом случае, по сути, преобразуется во временной, некоррелированный в смежных кадрах, что и определяет справедливость формулы (2). Из нее также следует, что при $\sigma_{п} \leq 0,4\sigma_{в}$ разность температур, эквивалентная шуму, из-за наличия пространственного шума возрастает не более чем на 8%, т.е. в пределах погрешности измерения этой разности, поэтому на практике при описании несканирующих ТВП нередко ограничиваются указанием единственного значения $\Delta T_{в0}$.

Отметим, что измерение разности температур, эквивалентной шуму, так же как, например, и ФПМ, наблюдательных ТВП, работающих, как правило, по достаточно удаленным объектам, традиционно производится с использованием коллиматора, имитирующего локализацию тест-объекта на бесконечности. В противном случае при визировании тест-объекта, находящегося на конечном расстоянии от ТВП, как оказалось, измерения могут дать существенно заниженную оценку $\Delta T_{в0}$, тем меньшую, чем ближе расположен тест-объект и чем больше относительное отверстие объектива ТВП.

Для иллюстрации в таблице приведены заимствованные из [7] сведения о значениях разности температур, эквивалентной временному шуму, измеренных для ряда образцов ТВП, построенных на квантовых охлаждаемых или тепловых неохлаждаемых фотоприемниках, с использованием ($\Delta T_{в0}$) и без использования ($\Delta T_{в0}^*$) коллиматора – в последнем случае тест-объект находился в непосредственной близости от ТВП, сфокусированного на бесконечность. Зависимость измеренных таким образом значений $\Delta T_{в0}^*$ для одного из данных образцов ТВП с тепловым фотоприемником и относительным отверстием объектива 1:1,2 от расстояния D_0 до тест-объекта представлена на рис. 3, на котором для сравнения дано и значение $\Delta T_{в0}$, полученное с применением коллиматора [7].

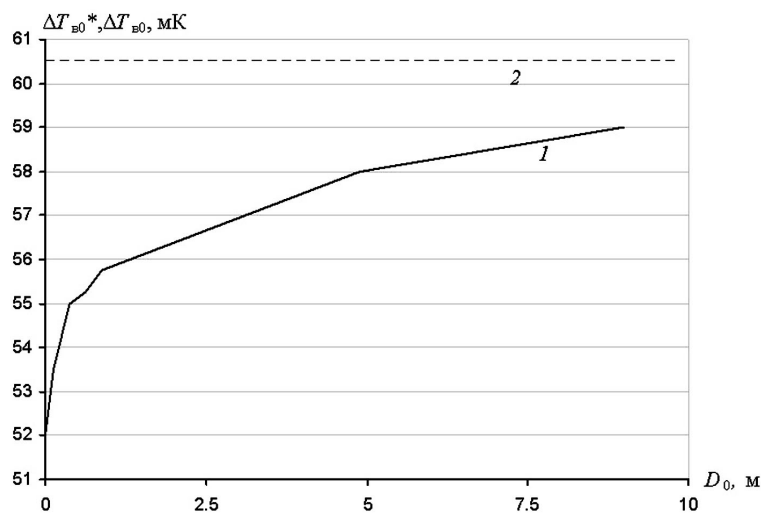


Рисунок 3.

Зависимости значений разности температур, эквивалентной временному шуму, от дистанции до тест-объекта, измеренные без использования коллиматора (1) и с коллиматором (2)

Таблица.

Значения разности температур, эквивалентной временному шуму, для ряда образцов ТВП с различным относительным отверстием ω , измеренные с использованием ($\Delta T_{в0}$) и без использования ($\Delta T_{в0}^$) коллиматора*

Фотоприемник, $\Delta\lambda$	ω	$\Delta T_{в0}^*$, мК	$\Delta T_{в0}$, мК	$(\Delta T_{в0} - \Delta T_{в0}^*)/\Delta T_{в0}$
Катадиоптрический объектив				
Тепловой, 8-14 мкм	1:1	58	105	0,45
Тепловой, 8-14 мкм	1:1	53	83	0,36
Тепловой, 8-14 мкм	1:1	60	108	0,45
Тепловой, 8-14 мкм	1:1,1	61	103	0,41
Тепловой, 8-14 мкм	1:1,1	57	82	0,31
Квантовый, 3-5 мкм	1:2,3	45	55	0,19
Квантовый, 8-12 мкм	1:2	19	22	0,16
Линзовый объектив				
Тепловой, 8-14 мкм	1:1	34	41	0,17
Тепловой, 8-14 мкм	1:1	45	58	0,23
Тепловой, 8-14 мкм	1:1,2	52	61	0,16
Тепловой, 8-14 мкм	1:1,2	73	96	0,24
Тепловой, 8-14 мкм	1:1,2	71	84	0,16
Тепловой, 8-14 мкм	1:1,4	71	81	0,12
Тепловой, 8-14 мкм	1:1,4	108	148	0,27
Тепловой, 8-14 мкм	1:1,6	94	118	0,20
Тепловой, 8-14 мкм	1:2	190	205	0,07
Квантовый, 3-5 мкм	1:2,3	31	31	0
Квантовый, 3-5 мкм	1:4	46	45	-0,01
Квантовый, 3-5 мкм	1:5,5	38	39	0,01
Квантовый, 8-12 мкм	1:2	17	16	-0,01

При этом найдено, что если дистанция l_0 превышает гиперфокальное расстояние $D_{\text{рф}}$ – расстояние до объекта, м, при котором дальняя граница глубины поля резкости ТВП находится на бесконечности, – составляющее [9]

$$D_{\text{рф}} = fD_{\text{об}} / d, \tag{3}$$

где $D_{\text{об}}$ и f – диаметр и фокусное расстояние объектива соответственно, мм; d – диаметр кружка рассеяния объектива, мкм, то значения $\Delta T_{\text{в0}}^*$ и $\Delta T_{\text{в0}}$ практически совпадают.

В частности, для дифракционно-ограниченного объектива ТВП имеем: $d = 2,44\lambda_0/\omega$, где λ_0 – средняя длина волны диапазона $\Delta\lambda$, мкм; ω – относительное отверстие объектива, и тогда, по (3), находим:

$$D_{\text{рф}} = D_{\text{об}}^2 / 2,44\lambda_0,$$

что, например, для $D_{\text{об}} = 50$ мм и $\lambda_0 = 10$ мкм ($\Delta\lambda = 8-12$ мкм) дает значение $D_{\text{рф}} \approx 100$ м.

Однако фактические условия работы ТВП в общем случае отличаются от условий его аттестации: реальная температура фона T может не совпадать с нормированной температурой T_0 . Кроме того, некоторые ТВП, например измерительные или медицинские, допускают фокусировку на достаточно близкое расстояние (и для них это штатный режим работы), благодаря чему их поверка по методике [8,10] может производиться без использования коллиматора – весьма сложного и дорогостоящего прибора. Поэтому практически важно решить задачу пересчета измеренных параметров $\Delta T_{\text{в0}}$ и $\Delta T_{\text{п0}}$, полученных для температуры фона T_0 и расстояния до тест-объекта D_0 , мм, на фактические значения температуры фона T и дистанции до объекта D , мм, которым отвечают соответствующие рабочие, эксплуатационные значения разностей температур, эквивалентных временному $\Delta T_{\text{в}}$ и пространственному шуму $\Delta T_{\text{п}}$.

Согласно формуле отрезков [9], плоскость изображения при аттестации ТВП в данном случае находится на расстоянии $D_0' = f/(1-f/D_0)$ от главной плоскости объектива, превышающем его фокусное расстояние f . Поэтому, используя результаты [1,11], и считая, что в излучении, попадающем на фотоприемник, доминирующую роль играет излучение фона, находим соотношение между значениями $\Delta T_{\text{в}}$ и $\Delta T_{\text{в0}}$:

$$\Delta T_{\text{в}} = \sqrt{t_0/t} \sqrt{\Delta T_{\text{ф0}}^2 MB / M_0 B_0 + (\Delta T_{\text{в0}}^2 \tau_{\text{об}}^2 - \Delta T_{\text{ф0}}^2) B^2 / B_0^2} / (\tau_{\text{об}} Y / Y_0); \tag{4}$$

$$B_0 = \frac{4}{\omega^2 (1 - f / D_0)^2} + 1; \quad B = \frac{4}{\omega^2 (1 - f / D)^2} + 1,$$

где $\Delta T_{\text{ф0}}$ – разность температур, эквивалентная фотонному шуму фотоприемника, К, отвечающая температуре фона T_0 ; t_0, t – время накопления заряда для нормированной и фактической температуры фона соответственно, с; $\tau_{\text{об}}$ – средний коэффициент пропускания объектива в диапазоне $\Delta\lambda$.

Здесь предполагается, что квантовый фотоприемник имеет встроенный охлаждаемый спектральный фильтр, а апертурный угол охлаждаемой диафрагмы совпадает с задним апертурным углом объектива.

Время накопления зарядов t в (4) определяется допустимым уровнем заполнения зарядовой емкости устройства считывания при повышенных температурах фона [1]:

$$t = \min(t^*, t_0); \quad t^* = \frac{10^8 \alpha_0 hc B N_m}{M \lambda_m \eta_m a^2} = \frac{10^8 \alpha_0 hc B N_m}{G \eta a^2} = \frac{R \alpha_0 B N_m}{\eta a^2}, \tag{5}$$

$$R = 10^8 hc / G; \quad G = \int_{\Delta\lambda} \lambda M(\lambda) d\lambda,$$

где λ_m – длина волны, на которой $S(\lambda_m) = \max$, мкм; η_m – спектральная квантовая эффективность фотоприемника на длине волны λ_m ; η – интегральная квантовая эффективность фотоприемника в диапазоне $\Delta\lambda$; $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $c = 3 \cdot 10^{14}$ мкм/с – скорость света (тогда $hc = 2 \cdot 10^{-19}$ Дж·мкм); a – размер чувствительного элемента фотоприемника, мкм; N_m – зарядовая ем-

кость устройства считывания, электрон; α_0 – предельно допустимый уровень заряда этой емкости, обычно составляющий $\alpha_0 = 0,5-0,7$.

Зависимость комплекса R , мкм²·с, необходимого для вычисления по (5) времени накопления t , от температуры фона T хорошо аппроксимируется формулой:

$$R = \begin{cases} 10^{-(3,6+0,015T)} & (3-5 \text{ мкм}); \\ 10^{-(7,5+0,0076T)} & (8-12 \text{ мкм}). \end{cases}$$

Значение $\Delta T_{\phi 0}$, согласно [1], составляет:

$$\Delta T_{\phi 0} = \frac{10^4 \sqrt{hcM_0 B_0}}{a Y_0 \sqrt{\lambda_m \eta_m t_0}} = \frac{10^4 M_0 \sqrt{hcB_0}}{a Y_0 \sqrt{G_0 \eta t_0}} = \frac{W \sqrt{B_0}}{a \sqrt{\eta t_0}}; \quad W = \frac{10^4 M_0 \sqrt{hc}}{Y_0 \sqrt{G_0}} \quad (6)$$

где G_0 – значение параметра G при температуре фона $T = T_0$.

Расчетные значения комплекса W при температуре $T_0 = 295 \text{ K}$, определяющие по (6) величину $\Delta T_{\phi 0}$ в (4), для указанных выше квантовых фотоприемников таковы: $W = 2,55 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{мкм} \cdot \text{с}^{1/2}$ для $\Delta \lambda = 3-5 \text{ мкм}$ и $W = 7,46 \cdot 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{мкм} \cdot \text{с}^{1/2}$ для $\Delta \lambda = 8-12 \text{ мкм}$.

В предельных случаях пересчет по (4), (5) значительно упрощается. Так, при использовании высококачественного фотоприемника ТВП может работать в режиме ограничения фоном, когда существен лишь фотонный шум, а аппаратный шум пренебрежимо мал. Тогда имеем: $\Delta T_{\text{в}0} \tau_{\text{об}} = \Delta T_{\phi 0}$ и, следовательно,

$$\Delta T_{\text{в}} = \Delta T_{\text{в}0} \sqrt{MBt_0 / M_0 B_0 t} / (Y / Y_0). \quad (7)$$

Оценим характерные для спектральных рабочих диапазонов ТВП значения t_0 и t в (4)-(7).

Для диапазона спектра 3-5 мкм параметры, определяющие время накопления зарядов, для современных фотоприемников имеют следующие типовые значения: $\eta = 0,8$, $a = 15 \text{ мкм}$, $N_m = 4 \cdot 10^7$, $\alpha_0 = 0,5$, $\omega = 1:4$ ($B = 65$), и тогда по (5) для температуры фона $T \leq 310 \text{ K} = 37^\circ\text{C}$ находим $t^* \geq 0,04 \text{ с}$. Следовательно, для частоты кадров $F \geq 1/0,04 = 25 \text{ Гц}$ можно считать, что время накопления определяется только частотой кадров: $t = t_0 = 1/F$, поэтому, учитывая, что, по (1), $Y/Y_0 \approx MT_0^2/M_0 T^2$, вместо (6), (7) получаем выражения:

$$\Delta T_{\phi 0} = \frac{10^4 \sqrt{hcM_0 B_0 F}}{a Y_0 \sqrt{\lambda_m \eta_m \alpha_m}} = \frac{10^4 M_0 \sqrt{hcB_0 F}}{a Y_0 \sqrt{G_0 \eta \alpha_m}} = \frac{W \sqrt{B_0 F}}{a \sqrt{\eta \alpha_m}}; \quad (8)$$

$$\Delta T_{\text{в}} = \Delta T_{\text{в}0} \sqrt{M / M_0} \sqrt{B / B_0} / (Y / Y_0) \approx \Delta T_{\text{в}0} (T / T_0)^2 \sqrt{B / B_0} / \sqrt{M / M_0}.$$

Отметим, что при $\alpha_0 = 0,7$ эти выражения справедливы вплоть до температуры фона $T = 320 \text{ K} = 47^\circ\text{C}$.

Для значений $\eta = 0,8$, $a = 20 \text{ мкм}$, $N_m = 4 \cdot 10^7$, $\alpha_0 = 0,7$, $\omega = 1:2$ ($B = 17$), характерных для диапазона спектра 8-12 мкм, и $T > 220 \text{ K} = -53^\circ\text{C}$, согласно (5), будет выполняться соотношение $t^* \leq 0,001 \text{ с}$. Следовательно, при частоте кадров $F \leq 1/0,001 \text{ Гц} = 1000 \text{ Гц}$ оба значения времени накопления t_0 и t определяются зарядовой емкостью считывающего устройства:

$$t_0 = 10^8 \alpha_0 hc B_0 N_m / \lambda_m \eta_m a^2 M_0; \quad t = 10^8 \alpha_0 hc B N_m / \lambda_m \eta_m a^2 M, \quad ,$$

а отношение $t_{\text{н}0}/t_{\text{н}} = B_0 M / B M_0$. Тогда вместо (6) и (7) имеем соответственно:

$$\Delta T_{\phi 0} = \frac{M_0}{Y_0 \sqrt{\alpha_0 N_m}} \approx \frac{\lambda_0 T_0^2}{1,44 \cdot 10^4 \sqrt{\alpha_0 N_m}};$$

$$\Delta T_{\text{в}} = \Delta T_{\text{в}0} (M / M_0) / (Y / Y_0) \approx \Delta T_{\text{в}0} (T / T_0)^2.$$

Для ТВП с неохлаждаемыми тепловыми фотоприемниками фотонный шум обычно сравнительно невелик, а время накопления определяется тепловой инерционностью фотоприемника, поэтому полагая в (4) $\Delta T_{\phi 0} = 0$, $S(\lambda) = 1$ и $t_0 = t = \tau$, где τ – тепловая постоянная времени, для значения $\Delta T_{\text{в}}$ получаем:

$$\Delta T_B = \Delta T_{B0} (B/B_0)/(Y/Y_0) \approx \Delta T_{B0} (B/B_0)(T/T_0)^2 / (M/M_0). \quad (9)$$

Анализ показывает, что зависимости комплексов $\psi = Y/Y_0$ и $\zeta = M/M_0$ от температуры фона T , требуемые для вычисления ΔT_B , могут быть рассчитаны по следующим приближенным формулам:

$$\psi = \begin{cases} (T/295)^{13,2-4,19(T/295)} & (3-5 \text{ мкм}); \\ (T/295)^{4,62-1,14(T/295)} & (8-12 \text{ мкм}); \\ (T/295)^{3,95-1,11(T/295)} & (8-14 \text{ мкм}); \end{cases} \quad \zeta = \begin{cases} (T/295)^{16,4-5,33(T/295)} & (3-5 \text{ мкм}); \\ (T/295)^{7,32-2,15(T/295)} & (8-12 \text{ мкм}). \end{cases} \quad (10)$$

Разность температур, эквивалентная пространственному шуму ΔT_{Π} , для ТВП с квантовыми фотоприемниками от относительного отверстия объектива не зависит и для температуры фона T связана с измеренным значением $\Delta T_{\Pi 0}$ соотношением [1]:

$$\Delta T_{\Pi} = \Delta T_{\Pi 0} (M/M_0)/(Y/Y_0) \approx \Delta T_{\Pi 0} (T/T_0)^2. \quad (11)$$

Значение ΔT_{Π} для ТВП с тепловыми фотоприемниками, воспринимающими излучение от всей окружающей полусферы, определяется формулой [1]:

$$\Delta T_{\Pi} = \Delta T_{\Pi 0} (T/T_0)^4 (B/B_0)/(Y/Y_0) \approx \Delta T_{\Pi 0} (T/T_0)^2 (B/B_0)/(K/K_0), \quad (12)$$

где K, K_0 – доля излучения черного тела с температурой T и T_0 соответственно, приходящаяся на диапазон спектра $\Delta\lambda$.

В случае использования при аттестации ТВП коллиматора ($D_0 \rightarrow \infty$) и работы по достаточно удаленным объектам ($D \rightarrow \infty$), а также при конечных, но равных друг другу расстояниях D_0 и D , согласно (4), следует принять $B = B_0$. Если, кроме того, $T = T_0$, то измеренные значения ΔT_{B0} и $\Delta T_{\Pi 0}$ совпадают с рабочими: $\Delta T_B = \Delta T_{B0}$, $\Delta T_{\Pi} = \Delta T_{\Pi 0}$.

На практике нередко аттестуется ТВП без объектива – «ядро» прибора. При этом для обеспечения корректности измерений ΔT_{B0} близлежащий тест-объект должен заполнять весь апертурный угол диафрагмы σ_0 [7, 12]. (Отметим, что пороговую чувствительность современных матричных фотоприемников принято определять именно значением ΔT_{B0} , измеренным при заданном угле σ_0 [13].) Пересчет полученных результатов измерений ΔT_B и $\Delta T_{\Pi 0}$ на полнокомплектный ТВП здесь производится по следующим формулам – вместо (4), (9), (11) и (12) соответственно:

$$\Delta T_B = \sqrt{t_0/t} \sqrt{\Delta T_{\Phi 0}^2 M B / M_0 B_0 + (\Delta T_{B0}^2 - \Delta T_{\Phi 0}^2) B^2 / B_0^2} / (\tau_{об} Y / Y_0);$$

$$\Delta T_B = \Delta T_{B0} (B/B_0) / (\tau_{об} Y / Y_0); \quad \Delta T_{\Pi} = \Delta T_{\Pi 0} (M/M_0) / (\tau_{об} Y / Y_0);$$

$$\Delta T_{\Pi} = \Delta T_{\Pi 0} (T/T_0)^4 (B/B_0) / (\tau_{об} Y / Y_0); \quad B_0 = \text{ctg}^2 \sigma_0 + 1.$$

Рабочая результирующая разность температур, эквивалентная шуму ΔT , как и в (2), во всех случаях составляет:

$$\Delta T = \sqrt{\Delta T_B^2 + \Delta T_{\Pi}^2}. \quad (13)$$

Пример. ТВП с фотоприемником на InSb (диапазон спектра 3-5 мкм, средняя квантовая эффективность $\eta = 0,6$, размер элемента $a = 15$ мкм) использует объектив с диаметром $D_{об} = 100$ мм, относительным отверстием $\omega = 1:4$ и коэффициентом пропускания $\tau_{об} = 0,8$ и имеет разности температур, эквивалентные временному и пространственному шуму, $\Delta T_{B0} = 0,05$ К и $\Delta T_{\Pi 0} = 0,02$ К соответственно, измеренные при частоте кадров $F = 25$ Гц и температуре фона $T_0 = 295$ К по отношению к протяженному тест-объекту, находящемуся на расстоянии $D_0 = 3 \text{ м} = 3000$ мм, без использования коллиматора. Требуется определить результирующую разность температур, эквивалентную шуму ΔT , при работе ТВП по удаленным объектам ($D \rightarrow \infty$) и температуре фона $T = 310$ К. Расчет проводим в следующем порядке:

- для фокусного расстояния объектива $f = 100/0,25 = 400$ мм рассчитываем по (4) параметры $B_0 = 86$ и $B = 65$;

- для значения $W = 2,55 \cdot 10^{-3} \text{ К} \cdot \text{мкм} \cdot \text{с}^{1/2}$ рассчитываем по (6) разность температур, эквивалентную фотонному шуму (в нормированных условиях), $\Delta T_{\text{фо}} = 0,01 \text{ К}$;

- рассчитываем по (10) параметры $\psi = 1,55$ и $\zeta = 1,71$;

- рассчитываем по (4) разность температур, эквивалентную временному шуму, $\Delta T_{\text{в}} = 0,025 \text{ К}$;

- рассчитываем по (11) разность температур, эквивалентную пространственному шуму, $\Delta T_{\text{п}} = 0,022 \text{ К}$;

- рассчитываем по (13) результирующую разность температур, эквивалентную шуму, $\Delta T = 0,033 \text{ К}$.

Измерение функции передачи модуляции.

Отметим прежде всего, что для современных цифровых ТВП понятие ФПМ нуждается в уточнении, поскольку оно, вообще говоря, применимо лишь к линейным и пространственно-инвариантным системам. Однако несканирующие ТВП, считаясь вполне линейными (по крайней мере, для малых сигналов), пространственно-инвариантными системами не являются, ибо их функция рассеяния линии, а значит, и результирующая ФПМ, представляющая собой модуль преобразования Фурье от этой функции рассеяния, зависят от расположения тест-объекта относительно структуры элементов фотоприемника, реализующего выборку. Поэтому результирующая, характеризующая прибор в целом ФПМ в данном случае не определена. Тем не менее можно найти некую эффективную результирующую ФПМ прибора, которая, будучи использованной, например, для прогноза дальности действия прибора, даст результаты, соответствующие экспериментальным оценкам. Именно этот смысл понятия «результирующая ФПМ» цифровых ТВП мы и будем далее иметь в виду.

Для измерения ФПМ входного блока (объектив + элемент фотоприемника как линейный фильтр) несканирующих ТВП известно несколько методов [4,6,14]. Один из таких методов предполагает использование тест-объекта в виде узкой излучающей щели, установленной в фокальной плоскости объектива коллиматора, шириной не менее чем в 5-10 раз меньшей периода элементов фотоприемника

Δa_k , мкм, приведенного в эту плоскость. Щель дискретно перемещается с шагом $\Delta x = \Delta a_k / q$ ($q = 15-20$) по соответствующей координате, например по строке. Для каждого положения щели с облучаемого элемента фотоприемника снимаются сигналы, совокупность которых образует функцию рассеяния линии. Дискретное преобразование Фурье этой функции дает ФПМ входного блока ТВП.

В другом методе используется узкая неподвижная щель, ориентированная под небольшим углом $\gamma = 2-4^\circ$ к элементам столбца фотоприемника. Функция рассеяния линии здесь формируется множеством сигналов, снимаемых с элементов этого столбца, воспринимающих излучение данной щели, причем сигналы, соответствующие смежным элементам столбца, отвечают шагу отсчетов значений функции рассеяния линии, равному $\Delta x = \Delta a_k \cdot \text{tg} \gamma$. Дальнейшая обработка функции рассеяния линии аналогична.

Еще один способ измерения ФПМ входного блока, считающийся наиболее предпочтительным, предусматривает использование в качестве тест-объекта прямолинейной резкой границы (края) протяженного объекта с достаточно большой шириной $\Delta l \gg \Delta a_k$ (рис. 4).

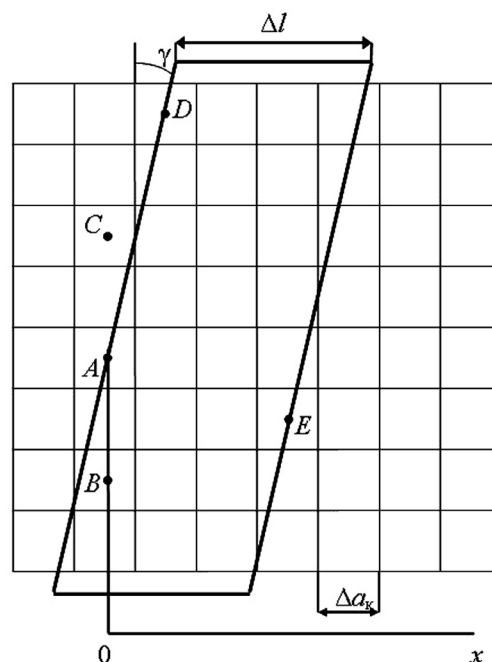


Рисунок 4.

Тест-объект для измерения ФПМ

При оценке ФПМ по строке этот край ориентируется под малым углом γ к элементам столбца фотоприемника. Совокупность снимаемых с элементов каждой строки фотоприемника сигналов, сдвинутых друг относительно друга на шаг $\Delta x = \Delta a_k \operatorname{tg} \gamma$, образует в итоге функцию рассеяния края (переходную функцию) $F(x)$ по строке. Она определяет функцию рассеяния линии $L(x) = dF(x)/dx$, модуль преобразования Фурье которой дает искомую ФПМ.

Для численного расчета ФПМ полученная функция рассеяния края $F(x)$, приведенная в фокальную плоскость объектива коллиматора, нормируется в максимуме к 1 и представляется в виде суммы налагающихся прямоугольных составляющих (рис. 5).

Значения ФПМ $K_{\text{вх}}(p_n)$ входного блока в зависимости от дискретных значений пространственной частоты p_n , мкм⁻¹, при этом рассчитываются по формуле [15]:

$$K_{\text{вх}}(p_n) = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m A_i \cos(2\pi n i / m)\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^m A_i \sin(2\pi n i / m)\right)^2};$$

$$n = 1, 2, \dots, m/2; \quad p_n = n p_1; \quad p_1 = 1/x_m,$$

где p_1 – начальная пространственная частота, мкм⁻¹; m – число участков, на которые делится зона размытия изображения края (m – четное); x_m – ширина зоны размытия, мкм; A_i – амплитуда i -ой налагающейся составляющей.

Расчет производится до максимального значения пространственной частоты $p_m = m/2x_m$.

Переход от пространственной частоты p , мкм⁻¹, к значению угловой частоты ν , мрад⁻¹, производится по формуле $\nu = f_k p$, где f_k – фокусное расстояние объектива коллиматора, мм.

Поскольку полученная таким образом ФПМ $K_{\text{вх}}(\nu)$ не учитывает наличия выборки, смаза изображения, возникающего при использовании динамической температурно-частотной характеристики ТВП, и индикатора (монитора), для определения результирующей ФПМ прибора $K(\nu)$ ее необходимо умножить на ФПМ выборки $K_{\text{выб}}(\nu)$, смаза $K_{\text{см}}(\nu) = K_{\text{выб}}(\nu)$ и индикатора $K_{\text{ин}}(\nu)$ [1]:

$$K(\nu) = K_{\text{вх}}(\nu) K_{\text{выб}}(\nu) K_{\text{см}}(\nu) K_{\text{ин}}(\nu) = K_{\text{вх}}(\nu) K_{\text{выб}}^2(\nu) K_{\text{ин}}(\nu); \quad (14)$$

$$K_{\text{выб}}(\nu) = \frac{\sin(\pi \nu \Delta \delta_0)}{\pi \nu \Delta \delta_0}; \quad K_{\text{ин}}(\nu) = \frac{\sin(\pi 2\beta_c \nu / Z R_c)}{\pi 2\beta_c \nu / Z R_c}; \quad \Delta \delta_0 = \frac{\Delta a}{f} = \frac{\Delta a_k}{f_k},$$

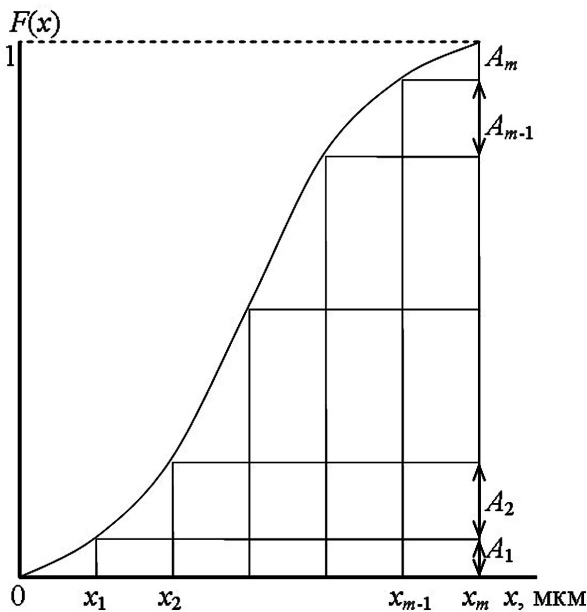


Рисунок 5.

Функция рассеяния края:

формирование налагающихся составляющих

где $2\beta_c$ – поле зрения ТВП по строке, мрад; R_c – число световых элементов индикатора, формирующего изображение, по строке; Z – электронное увеличение изображения; Δa – шаг элементов фотоприемника, мкм; $\Delta \delta_0$ – угловой период этих элементов, мрад.

Сведения о параметрах индикатора, как правило, даются в его паспорте, поэтому необходимости их измерения обычно не возникает. При достаточно большом электронном увеличении изображения ФПМ индикатора можно пренебречь. А поскольку это увеличение может варьироваться оператором с целью оптимизации условий дешифрирования изображения, для получения однозначных оценок результирующей ФПМ прибора влияние на нее ФПМ индикатора, который к тому же может быть сменным, целесообразно вовсе не учитывать.

Помимо сложности технической реализации, существенным недостатком рассмотренных методов является то, что они предполагают наличие априорной информации о структуре используемого в приборе фотоприемника, и это лишает подобные измерения необходимой полноты и представительности. Поэтому имеет смысл ввести и использовать на практике некоторые другие параметры ТВП, определяющие его ФПМ, но допускающие, в отличие от нее, достаточно простую экспериментальную оценку и чувствительные к наличию выборки. Одним из таких параметров является угловая ширина разрешения $\Delta\xi$ – угловая ширина прямоугольного излучателя, ориентированного под малым углом к элементам фотоприемника, при которой максимальное значение выходного сигнала ТВП, усредненное по длине этого излучателя, составляет величину, равную половине максимального выходного сигнала, достигаемого для протяженного излучателя с тем же тепловым контрастом. Другим столь же представительным параметром несцианирующего ТВП, связанным с его ФПМ, может служить угловой разрешаемый интервал $\Delta\psi$ – угловое расстояние между двумя одинаковыми параллельными наклонными линейными излучателями (щелями), при котором отношение провала к наименьшему из двух пиков выходного сигнала прибора, максимизированное по длине этих излучателей (и, соответственно, глубина модуляции сигнала), составляет некоторую фиксированную величину, например 0,1. Взаимосвязь между ФПМ прибора и параметрами $\Delta\xi$ и $\Delta\psi$ установлена в работах [16] и [17] соответственно.

В настоящей работе предлагается, как вариант, еще один столь же простой метод косвенной оценки ФПМ, основанный на измерении крутизны выходного сигнала ТВП на край тест-объекта – наклонной оптической полуплоскости. Для его обоснования учтем, что ФПМ входного блока $K_{\text{вх}}^*(\nu)$, особенно в том типовом случае, когда доминирующую роль в формировании функции рассеяния линии этого блока играет кружок рассеяния объектива с гауссовским распределением энергии, хорошо аппроксимируется выражением вида (например, [9]):

$$K_{\text{вх}}^*(\nu) = \exp(-2\pi^2\beta_{\text{вх}}^2\nu^2), \quad (15)$$

где $\beta_{\text{вх}}$ – параметр аппроксимации ФПМ, мрад. Согласно теории линейной фильтрации, данной ФПМ отвечает также гауссовская функция рассеяния линии $L(\varphi)$, описываемая формулой [9]

$$L(\varphi) = \exp(-\varphi^2 / 2\beta_{\text{вх}}^2),$$

и соответствующая функция рассеяния края $F(\varphi)$ – зависимость выходного сигнала, нормированного в максимуме к 1, снимаемого с элементов столбца фотоприемника при визировании этого края, от угловой координаты (рис. 6):

$$F(\varphi) = 0,5[1 + \Phi(\varphi/\beta_{\text{вх}})];$$

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp(-y^2/2) dy, \quad (16)$$

где $\varphi = x/f_k$ – угловая координата, мрад, отсчитываемая от точки A – центра элемента фотоприемника, близ которого проходит изображение края тест-объекта (рис. 4) и которому, следовательно, отвечает максимальная крутизна выходного сигнала; $\Phi(z)$ – интеграл вероятности.

Поэтому разность ΔF значений выходного сигнала, соответствующая угловому интервалу $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ между угловыми координатами

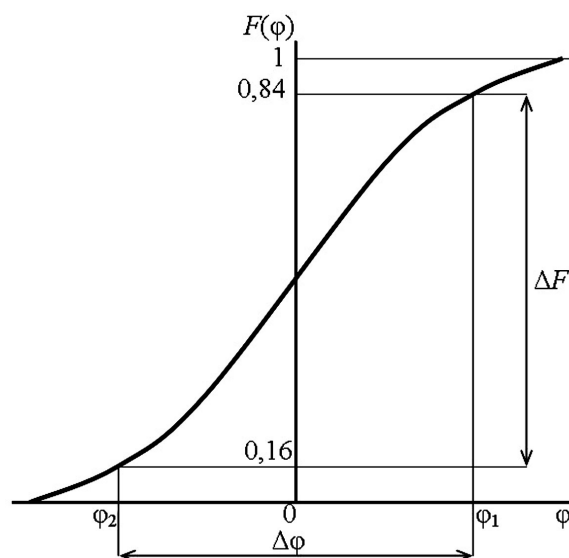


Рисунок 6.

Функция рассеяния края: определение углового интервала между отсчетами выходного сигнала

$\varphi_1 = \Delta\varphi/2$ и $\varphi_2 = -\Delta\varphi/2$, отвечающими соответственно значениям выходного сигнала $F(\varphi_1)$ и, в силу нечетности функции $\Phi(z)$, $F(\varphi_2) = 1 - F(\varphi_1)$, составляет:

$$\Delta F = F(\varphi_1) - F(\varphi_2) = \Phi(\Delta\varphi/2\beta_{\text{вх}}). \quad (17)$$

СКО σ методической погрешности оценки параметра $\beta_{\text{вх}}$ в (15) определяется СКО $\sigma_{\Delta F}$ оценки разности ΔF значений выходного сигнала согласно общей формуле: $\sigma = \sigma_{\Delta F} / (d\Delta F/d\beta_{\text{вх}})$. Тогда, как следует из (17), относительное СКО $\sigma_{\text{отн}} = \sigma/\beta_{\text{вх}}$ равно:

$$\sigma_{\text{отн}} = \sqrt{2\pi}(\beta_{\text{вх}}/\Delta\varphi) \exp(\Delta\varphi^2/8\beta_{\text{вх}}^2) \sigma_{\Delta F}, \quad (18)$$

и оно зависит от углового интервала $\Delta\varphi$, определяющего крутизну функции рассеяния края; выбор этого интервала, естественно, должен обеспечивать возможно более высокую точность измерений параметра $\beta_{\text{вх}}$. Анализ (18) показывает, что величина $\sigma_{\text{отн}}$ достигает минимума при $\Delta\varphi = 2\beta_{\text{вх}}$, что, по (16), дает $F(\varphi_1) = 0,84$, $F(\varphi_2) = 1 - 0,84 = 0,16$ (рис. 6) и, по (18), $\sigma_{\text{отн}} = 2,065\sigma_{\Delta F}$. Поэтому, установив номера n_B и n_C элементов столбца фотоприемника с центрами в точках C и B (рис. 4, номера элементов отсчитываются от нижнего края фотоприемника), которым отвечают значения выходного сигнала, наиболее близкие к 0,16 и 0,84 соответственно, и номер n_D элемента соседнего столбца фотоприемника с центром в точке D , которому отвечает, как и элементу с номером n_A , значение выходного сигнала, наиболее близкое к 0,5, и, тем самым, получив оценку углового интервала $\Delta\varphi$, мрад, составляющую

$$\Delta\varphi = \Delta\delta_0(n_C - n_B)/(n_D - n_A), \quad (19)$$

можно с минимальной относительной погрешностью получить искомую оценку параметра $\beta_{\text{вх}}$ в (15): $\beta_{\text{вх}} = \Delta\varphi/2$.

В свою очередь, СКО оценки значения $\sigma_{\Delta F}$ определяется тремя основными компонентами, обусловленными соответствующими независимыми источниками погрешности оценок:

$$\sigma_{\Delta F} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2},$$

где σ_1 , σ_2 , σ_3 – СКО оценки, определяемое шумом ТВП, квантованием сигналов аналого-цифровым преобразователем и дискретностью оценки углового интервала $\Delta\varphi$ соответственно.

СКО σ_1 и σ_2 рассчитываются по формулам [3]:

$$\sigma_1 = \sqrt{2\Delta T_0 / \Delta T_R};$$

$$\sigma_2 = \sqrt{2\vartheta\Delta T_0 / (\sqrt{12}\Delta T_R)},$$

где ΔT_R – разность радиационных температур тест-объекта и фона, К; ϑ – отношение шага квантования к СКО шума.

СКО σ_3 , как вытекает из (17), равно:

$$\sigma_3 = (d\Delta F / d\Delta\varphi) \sigma_{\Delta\varphi} =$$

$$= \exp(-\Delta\varphi^2 / 8\beta_{\text{вх}}^2) \sigma_{\Delta\varphi} / \sqrt{2\pi}\beta_{\text{вх}};$$

$$\sigma_{\Delta\varphi} = \sqrt{2\Delta\delta_0 / \sqrt{12}q},$$

где q – число отсчетов выходного сигнала, соответствующих периоду элементов фотоприемника,

что при $\Delta\varphi/\beta_{\text{вх}} = 2$ дает $\sigma_3 = 0,1\Delta\delta_0/q\beta_{\text{вх}}$.

Для оценки достижимой точности измерения величины $\beta_{\text{вх}}$ придадим введенным выше параметрам типовые значения: $\Delta T_0 = 0,03$ К, $\Delta T_R = 4$ К, $\vartheta = 1$, $q = 20$, $\Delta\delta_0/\beta_{\text{вх}} = 2$ (что приблизительно соответствует двукратному превышению диаметром кружка рассеяния объектива размера элемента фотоприемника). Тогда находим: $\sigma_1 = 0,01$, $\sigma_2 = 0,003$, $\sigma_3 = 0,01$ и $\sigma_{\text{отн}} = 0,03$. Как видно, для повышения точности измерения ФПМ следует повышать тепловой контраст тест-объекта ΔT_R , уменьшать угол наклона его края ϑ и относительный шаг квантования ϑ .

ФПМ выборки $K_{\text{выб}}(v)$, на которую необходимо умножить полученную по (15) ФПМ входного блока, определяется по формуле (14). Если угловой период $\Delta\delta_0$ элементов фотоприемника не известен, то следует найти элемент n_E столбца фотоприемника, близ центра которого (точка E на рис. 4) проходит изображение другого края тест-объекта и которому, следовательно, как и элементу n_A , соответствует значение выходного сигнала, наиболее близкое к 0,5, и рассчитать значение $\Delta\delta_0$ согласно формуле:

$$\Delta\delta_0 = \frac{\Delta l}{f_{\text{к}}[\Delta n - (n_A - n_E)/(n_D - n_A)]}, \quad (20)$$

где Δl – ширина тест-объекта, мкм; Δn – число элементов в строке фотоприемника между столбцами, содержащими элементы с центрами в точках A и E .

При этом разность $n_A - n_E$ может принимать как положительное, так и отрицательное значение.

Очевидно, при возможности изменения ширины тест-объекта можно добиться, чтобы элементы n_A и n_E находились на одном уровне ($n_A = n_E$), и тогда $\Delta\delta_0 = \Delta l / f_k \Delta n$.

При достаточно большой ширине тест-объекта СКО оценки углового периода фотоприемника пренебрежимо мало.

Поскольку ФПМ выборки допускает аппроксимацию вида (15) с параметром [1,4] $\beta_{\text{выб}} = 0,282\Delta\delta_0$, полученную результирующую ФПМ прибора $K(v)$ также можно описать гауссовской зависимостью с соответствующим параметром β_Σ (без учета ФПМ индикатора):

$$K(v) = \exp(-2\pi^2\beta_\Sigma^2 v^2);$$

$$\beta_\Sigma = \sqrt{\beta_{\text{вх}}^2 + 2\beta_{\text{выб}}^2} = \sqrt{\beta_{\text{вх}}^2 + 0,16\Delta\delta_0^2}$$

При оценке ФПМ следует исключить заметное влияние на результаты измерений аберраций объектива коллиматора, для чего необходимо, чтобы его ФПМ была не менее чем в 5 раз шире ФПМ прибора [18]; согласно [9], это эквивалентно условию:

$$d_k / f_k \leq 0,8\beta_\Sigma, \quad (21)$$

где d_k – диаметр аберрационного кружка рассеяния объектива коллиматора с концентрацией энергии 85%, мкм.

Считая, что в типовых случаях для кружка рассеяния объектива ТВП и его фотоприемника выполняются соотношения $d/a = 2$ и $a/\Delta a = 0,95$, на основании результатов [1] вместо (21) находим:

$$d_k / f_k \leq 0,68a / f.$$

Если при этом диаметр объектива коллиматора превышает диаметр объектива ТВП, то дифракционное пятно рассеяния объектива коллиматора принципиально не будет оказывать какого-либо влияния на результаты измерений, поскольку объективы ТВП и коллиматора представляют собой единую оптическую систему, дифракционный кружок рассеяния которой уже учтен при определении функции $K(v)$ [18]. Необходимо также следить за тем, чтобы сигналы от тест-объекта не выходили

за пределы линейного участка передаточной функции сигнала ТВП.

При возможности фокусировки ТВП на близкое расстояние коллиматор, как и при оценке $\Delta T_{\text{во}}$ и $\Delta T_{\text{по}}$, является излишним и измеренную с расстояния D_0 до тест-объекта ФПМ прибора можно пересчитать на любую рабочую дистанцию D согласно следующей простой методике.

Для объектива ТВП существуют очевидные равенства:

$$\Delta y / D = \Delta y' / D'; \quad \Delta y_0 / D_0 = \Delta y'_0 / D'_0,$$

где $\Delta y_0, \Delta y'_0$ – длина края тест-объекта и его изображения, отвечающая дистанции D_0 ; $\Delta y, \Delta y'$ – то же для дистанции D ; D', D'_0 – задние отрезки, отвечающие дистанциям D и D_0 соответственно.

Из формулы отрезков вытекает, что

$$D' = fD / (D - f); \quad D'_0 = fD_0 / (D_0 - f).$$

Тогда для одного и того же размера изображения края ($\Delta y'_0 = \Delta y'$) получаем соотношение:

$$\Delta y / D = \kappa \Delta y_0 / D_0;$$

$$\kappa = [(D - f)D_0] / [(D_0 - f)D],$$

и, следовательно, формулы (19), (20) приобретают вид:

$$\Delta\varphi = \Delta\delta_0 \kappa (n_C - n_B) / (n_D - n_A);$$

$$\Delta\delta_0 = \frac{\Delta l \kappa}{f_k [\Delta n - (n_A - n_E) / (n_D - n_A)]}.$$

При $D \rightarrow \infty$ имеем: $\kappa = D_0 / (D_0 - f)$. Если, кроме того, тест-объект находится на расстоянии, превышающем гиперфокальное ($D_0 \rightarrow \infty$), или же имеет место равенство $D = D_0$, то корректирующий коэффициент $\kappa = 1$.

Таким образом, для адекватной экспериментальной оценки разности температур, эквивалентной шуму, и ФПМ прибора, допускающего фокусировку на достаточно близкое расстояние, наличие коллиматора не является необходимым, ибо предложенная методика позволяет пересчитать полученные результаты измерений этих характеристик ТВП на любые условия работы.

Для измерения всех основных технических параметров ТВП обычно рекомендуется

использовать общее лабораторное оборудование, подобное описанному в [19].

Разумеется, выполненные на стенде результаты измерений основных технических параметров и характеристик ТВП необходимо привести к полевым условиям, в которых работает этот ТВП, отличающимся от лабораторных прежде всего наличием значительного слоя атмосферы на трассе. Эта коррекция может быть осуществлена следующими методами [20]:

- путем прямого измерения прозрачности и турбулентности атмосферы посредством соответствующей, нередко достаточно сложной и дорогой, аппаратуры;

- расчетным способом при использовании имеющихся моделей или статистических оценок этой прозрачности и турбулентности, которым, однако, присущи определенные допущения и приближения, снижающие точность коррекции;

- выполнением аттестации ТВП при использовании тест-объектов непосредственно в реальных условиях его применения.

Полагаем, что представленные результаты могут быть использованы при стендовых испытаниях современных несканирующих ТВП.

Список литературы:

1. Балоев В.А., Ильин Г.И., Овсянников В.А., Филиппов В.Л. Эффективность, помехозащищенность и помехоустойчивость видовых оптико-электронных систем. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2015. – 424 с.
2. Овсянников В.А., Филиппов В.Л. Повышение точности прогнозирования дальности действия современных тепловизионных приборов // Оборонная техника. – 2017. – № 3. – С. 14-28.
3. Chrzanowski K., Fischer J., Matyszkiew R. Testing and evaluation of thermal cameras for absolute temperature measurement // Optical Engineering. – 2000. – № 9. – P. 2535-2544.
4. Driggers R., Webb C., Pruchnic J., Halford C., Burroughs E. Laboratory measurement of sampled IR imaging system performance // Optical Engineering. – 1999. – № 5. – P. 852-861.
5. Holst G. Electro-optical imaging system performance. 3 ed. – USA: SPIE press, 2003. – 442 p.
6. Holst G. Testing and evaluation of IR imaging systems. 2 ed. – USA: SPIE press, 1998. – 422 p.
7. Rogers R., Edwards W., Waddle C., Dobbins C., Wood S. Reporting NETD: Why measurement techniques matter // Proc. SPIE. – 2014. – V. 9071. – P. 90710T-1– 90710T-18.
8. ГОСТ Р 8.619-2006 «Приборы тепловизионные измерительные. Методика поверки». – М.: Изд. стандартов. 2006. – 15 с.
9. Ллойд Д. Системы тепловидения. – М.: Мир, 1978. – 414 с.
10. ГОСТ Р 53466-2009 «Тепловизоры медицинские. Методы измерения основных параметров». – М.: Стандартинформ, 2011. – 28 с.
11. Овсянников В.А., Филиппов В.Л. Особенности выбора основных параметров объективов современных тепловизионных приборов // Оптический журнал. – 2017. – № 3. – С. 35-40.
12. Kim C., Meyer R. Comparison of IRST systems by SNR // Proc. SPIE. – 2014. – V. 9071. – P. 907102-1 – 907102-8.
13. Роговский А. ИК детекторы. – Новосибирск: Наука, 2003. – 636 с.
14. Fantone S., Imrie D., Orband D., Zhang J. MTF testing algorithms for sampled thermal imaging systems // Proc. SPIE. – 2007. – V. 6835. – P. 683510-1– 683510-7.
15. Дженкинс Г., Ватмс Д. Спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1971. – 316 с.
16. Овсянников В.А., Филиппов В.Л., Шушарин С.Н. Метод измерения функции передачи модуляции несканирующих тепловизионных приборов // Оптический журнал. – 2007. – № 1. – С. 74-76.
17. Овсянников В.А., Овсянников Я.В., Филиппов В.Л. Экспериментальная оценка функции передачи модуляции несканирующих тепловизионных приборов // Оборонная техника. – 2014. – № 1-2. – С. 37-41.
18. Chrzanowski K., Lee H., Wrona W. A condition on spatial resolution of IR collimators for testing of thermal imaging systems // Optical Engineering. – 2000. – № 5. – P. 1413-1417.
19. Chrzanowski K. Laboratory for testing electro-optical surveillance systems // Proc. SPIE. – 2011. – V. 8014. – P. 80141E-1– 8014E-12.
20. Burks S., Haefner D., Teaney B., Doe J. Thermal system field performance from laboratory and field measurement // Proc. SPIE. – 2016. – V. 9820. – P. 98200U-1– 98200U-7.

ЗАЩИЩЕННЫЕ ФОТО- И ВИДЕОКАМЕРЫ

ВОЛКОВ В.Г., ГИНДИН П.Д., КАРПОВ В.В., МОИСЕЕВ Е.А.*, СЕНИК Б.Н.*

АО «Московский завод «Сапфир», г. Москва

*ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

E-mail: volkvik2009@yandex.ru, bogdan_senik@mail.ru

Аннотация: *Рассматриваются различные виды защищенных фото- и видеокамер для работы в экстремальных условиях: при погружении в воду, при воздействии дождя, пыли, песка, жестких механических нагрузок и пониженной температуры. Показаны возможности защищенных фото- и видеокамер, приводятся их основные параметры и характеристики.*

Ключевые слова: фотокамера, видеокамера, объектив, формат, чувствительность, динамический диапазон, угол поля зрения, разрешение, глубина погружения в воду, высота падения, время экспозиции, число кадров в секунду, масса, габариты, энергопотребление.

PROTECTED PHOTO- AND VIDEOCAMERAS

VOLKOV V.G., GINDIN P.D., KARPOV V.V., MOISEEV E.A.*, SENIK B.N.*

JSC “Moskovskij Zavod “Sapphir”

*PJSC “Krasnogorskiy Zavod named S.A. Zverev”

E-mail: volkvik2009@yandex.ru, bogdan_senik@mail.ru

Abstract: *Describes different types of protected photos and video cameras to operate in extreme conditions such as immersion in water, when exposed to rain, dust, sand, rigid mechanical loads and low temperatures. The possibilities are protected by cameras and camcorders are their basic parameters and characteristics.*

Keywords: camera, video recorder, lens, format, sensitivity, dynamic range, field angle, resolution, depth of immersion into the water drop height, exposure time, number of frames per second, weight, dimensions, power consumption.

В настоящее время весьма широкое распространение получили цифровые фото- и видеокамеры. Они формируют изображение с высоким качеством и обладают многофункциональностью. Однако большинство камер не может работать в экстремальных условиях. Между тем такая потребность возникает довольно часто. В связи с этим появились так называемые «защищенные» цифровые фото- и видеокамеры, которые выдерживают серьезные воздействия со стороны внешних условий, а также обеспечивают работу по подвижным объектам [1 – 55]. Такие защищенные камеры называют еще «экшн-камерами» (от англ. Action Cameras). Их характерные признаки – возможность работы:

1. Под водой на глубине от 1 – 5 м до 60 м;
2. После падения с высоты 1,5 – 2,1 м на фанерный лист толщиной 6 см;
3. При воздействии механических усилий от 20 кг до 100 кг;
4. При воздействии воды, влаги, дождя, пыли, песка, дыма, грязи, агрессивных сред (морская вода, морской соляной туман и др.);
5. При воздействии пониженной температуры (-10)°С и ниже;
6. С сохранением многофункциональности в указанных выше условиях;
7. При высоком уровне эргономичности и эстетического оформления конструкции.

Защищенные цифровые фото- и видеокамеры широко используются туристами, альпинистами, дайверами, охотниками, рыбаками, при экологическом мониторинге, работниками охраны, правоохранительных органов, пограничных и таможенных служб, бойцами спецподразделений, криминалистами, для разведки со стационарных и мобильных пунктов, в том числе с борта беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и др.

Рассмотрим различные виды типичных защищенных фото- и видеокамер, их основные возможности, параметры и характеристики [1 – 50].

Основные параметры защищенных фотокамер представлены в таблице 1, их типичный внешний вид – на фото 1. Основные параметры защищенных видеокамер даны в таблице 2,

их типичный внешний вид – на фото 2. Основные параметры уличных защищенных видеокамер представлены в таблице 3, а их типичный внешний вид – на фото 3.

Корпуса портативных защищенных фото- и видеокамер выполнены из высокопрочных алюминиевых сплавов. Корпуса и отдельные отсеки камер, как правило, прорезинены. Это дает возможность эксплуатировать камеры под водой и при воздействии дождя. Для удобства управления используются не рычажки, а кнопки. Электрическое питание камер обеспечивается от встроенного, чаще всего литий-ионного аккумулятора. Чем больше емкость аккумулятора, тем больше время непрерывной работы камеры, измеряемое в часах, минутах или в количестве снятых кадров. Камеры имеют жидкокристаллический (ЖК) дисплей, жестко закрепленный в корпусе камеры или откидной. Реже дисплеи могут быть выполнены на базе OLED индикаторов. Экраны дисплеев могут быть обычными или сенсорными, реагирующими на прикосновение к нему. Достоинством сенсорных экранов является простота интерфейса, хорошо сочетаются небольшие размеры устройства и крупный экран, осуществляется быстрый набор в сложной обстановке, расширяются мультимедийные свойства. Недостатками таких экранов является отсутствие тактильной отдачи, более высокое энергопотребление, меньшая стойкость к механическим воздействиям. Для изготовления экранов нередко используется технология Gorilla Glass, обеспечивающая повышенное сопротивление стекла экрана к царапинам и ударам. Такие стекла в 3 раза прочнее химически обработанных натриево-кальциевых стекол. Благодаря этому стекло Gorilla Glass можно сделать на 25 – 50% тоньше: с 4 – 6 мм до 3 – 4 мм, а это позволяет снизить массу стекла более чем на 30%.

Камеры выполнены чаще всего на базе КМОП фоточувствительных матриц с числом пикселей от 1 Мп до 16 Мп. Камеры могут иметь объектив с неизменным или переменным фокусным расстоянием. В последнем случае такой объектив называется зум (zoom) объективом. Зум объективы позволяют плавно изменять



Фото 1.
*Защищенный фотоаппарат
Canon Power Shot D30*



Фото 2.
Защищенная видеокамера GoPro, HERO 2, США



Фото 3.
Уличная ТВ камера SATVISION SVC S19.2.8.

масштаб изображения за счет перемещения оптических компонентов объектива. Про такие камеры говорят, что они имеют оптический зум. Кроме оптического зума, камера может дополнительно иметь еще и электронный цифровой зум. При цифровом зуме изображение остается прежним, но из него выбирается часть и «растягивается» на весь экран дисплея. Изображение может стать крупнее по масштабу, но четкость его стала значительно хуже – не разрешаются мелкие детали. Следовательно, более выгодно применение не цифрового, а оптического зума. Его недостатком является усложнение конструкции объектива, необходимости наличия электромеханических органов его управления и соответственно более высокая стоимость. В защищенных камерах оптический зум чаще всего имеет увеличение не более 5^x, что является недостатком. Объясняется тем, что зум-объектив расположен глубоко внутри камеры для защиты оптической системы от падения. Обычно применяют сочетание оптического и цифрового зума.

Для борьбы с тремором камеры во время съемки, в особенности при работе с подвижных носителей, необходима стабилизация изображения (Image Stabilization, IS) – снижение размывания изображения в условиях вибрации камеры за счет компенсации ее перемещений [42 - 53]. Различают два метода IS: оптическая стабилизация (Optical Image Stabilization, OIS) и программируемая электронная стабилизация (Electronic Image Stabilization, EIS) изображения [47]. OIS устраняет размытость изображения, вызываемого смещением или дрожанием камеры в процессе съемки за счет соответствующего перемещения или наклона объектива, его линзовых компонентов или перемещения всего модуля – объектив + матрица КМОП для компенсации дрожания изображения. Метод, связанный со смещением всего модуля, дает лучшие результаты. Достигается это за счет аппаратных функций OIS. EIS использует комплексный программный алгоритм улучшения качества изображения. Для коррекции смещения OIS использует различные датчики, определяющие смещение по декартовым осям координат X и Y. Датчики

определяют наличие смещения и отклонения. Все собранные данные используются для того, чтобы вычислить, насколько велико изменение положения линз, необходимое для того, чтобы оптический путь точно соответствовал центру сенсора изображений – матрицы КМОП. EIS тоже обеспечивает коррекцию, но за счет снижения качества изображения (связанное, например, с обрезанием фрагментов исходного изображения). OIS снижает размывание, не влияя на качество исходного изображения. Возможно одновременное использование OIS и EIS. Преимуществом электронной стабилизации является то, что для его функционирования требуется только программное обеспечение, а OIS нуждается в дополнительных аппаратных компонентах камеры. Поэтому оптическая стабилизация — более дорогое, но и более высококачественное решение. На рис. 1 показано, как работает OIS фирмы Canon [47, 52]. Хотя она и использует гироскопы, но миниатюрные и только в качестве сенсоров для определения перемещения объектива. Стабилизатор изображения сдвигает группу линз объектива в параллельной к пленке плоскости. Когда объектив перемещается из-за сотрясения, световые лучи от объекта (его изображение) сдвигаются относительно оптической оси, вызывая появление смазанного изображения. Сдвигая группу линз стабилизации в плоскости перпендикулярной плоскости пленки в необходимых пределах для компенсации перемещения объектива можно добиться эффекта, когда лучи достигающие плоскости пленки фактически остаются неподвижными. Происходит механически исправление хода лучей [47]. Центр изображения при этом сдвигается вниз по плоскости кадра. Когда группа линз стабилизации сдвигается в вертикальном направлении, лучи, формирующие изображение преломляются и центр изображения, возвращаются в центр кадра. Так как вибрация происходит и в горизонтальном и в вертикальном направлениях, то группа линз блока стабилизации может сдвигаться и в вертикальном, и в горизонтальном направлениях в плоскости, перпендикулярной оптической оси объектива и параллельной плоскости кадра. Перемещения камеры улав-

ливаются двумя гироскопическими сенсорами. Сенсоры определяют направление (угол) и скорость перемещения (дрожания) камеры с объективом, обычно возникающей при съемке с рук. Для предохранения гиросенсоров от ошибок, связанных с реакцией на перемещение зеркала камеры или срабатыванием затвора, сенсоры заключены в специальные защитные блоки. Группа линз блока стабилизации имеет прямой привод от сердечников (соленоид). Устройство имеет малую массу и габариты, низкое энергопотребление и высокое быстродействие. Устройство позволяет эффективно компенсировать вибрации с частотой от 0.5 до 20 гц. Позиция блока стабилизации определяется с помощью инфракрасный светодиодов - излучателей (IREDs -Infrared Emitting Diodes), установленных на оправе блока, и устройств определения положения (PSD-Position sensing Device), расположенных на плате электроники блока. Таким образом, изначально устройство стабилизации имеет обратную связь для точного позиционирования. Устройство стабилизации имеет также блокиратор, который устанавливает группу линз стабилизации в центральную нейтральную позицию, в случае, когда устройство стабилизации изображения выключено. Последовательность работы OIS такова [47]. При нажатии кнопки спуска наполовину группа линз стабилизации разблокируется и активизируются гироскопические сенсоры для определения перемещения камеры. Гиросенсоры определяют угол и скорость перемещения камеры и посылают информацию об этом в микрокомпьютер. Микрокомпьютер преобразует эти сигналы в команды управления устройством стабилизации и передает их в устройство стабилизации. В соответствии с полученными командами устройство стабилизации смещает группу линз стабилизации перпендикулярно оптической оси. При этом сдвиге датчики положения группы линз стабилизации обрабатывают информацию о смещении и передают эту информацию в микрокомпьютер. Микрокомпьютер сравнивает сигналы управления переданные в шаге 3 с сигналами устройства определения положения группы линз стабилизации и осуществляет таким образом

контроль с помощью этой обратной связи. Это повышает точность в управлении группой линз стабилизации изображения. Микрокомпьютер представляет собой специализированный высокопроизводительный 16 битный процессор, впервые установленный в объективах EF Canon (AF объективы). Он может контролировать Устройство стабилизации изображения, механизм USM (автофокус) и автоматическую магнитную диафрагму (EMD) одновременно [47].

Существует и EIS (англ. *Electronic (Digital) Image Stabilizer* — электронная (цифровая) стабилизация изображения) [41 – 47, 48 – 54]. При этом виде стабилизации примерно 40 - 50% пикселей на матрице отводится на стабилизацию изображения и не участвует в формировании картинки. При дрожании видеокамеры изображение смещается по матрице, а процессор фиксирует эти колебания и вносит коррекцию, используя резервные пиксели для компенсации дрожания картинки. Эта система стабилизации широко применяется в цифровых видеокамерах, где матрицы маленькие (0,8 Мп, 1,3 Мп и др.). EIS имеет более низкое качество, чем OIS, но дешевле, так как не содержит дополнительных механических элементов. При этом, как уже говорилось, часть пикселей на матрице камеры отводится на стабилизацию и не участвуют в формировании изображения (например, из 800К пикселей на матрице камеры Sony DCR-NC15E только 400К участвуют в формировании изображения). Нужно, чтобы при своем дрожании изображение всегда находилась в пределах матрицы, не уходя за буферную зону, иначе электроника не сможет вычислить и применить необходимые поправки. Таким образом, в EIS стабилизация происходит с помощью самой матрицы и электроники обработки изображения. При этом включение EIS влияет на работу этой системы, в частности могут измениться экспонетрические параметры (в частности, к уменьшению выдержки до 1/100 сек). При OIS матрица не участвует в стабилизации, стабилизация осуществляется на уровне оптической системы, с помощью системы линз и гироскопов и электроники, не связанной с матрицей, все пиксели участвуют в формировании изображения. Таким образом,

на матрицу изображение приходит уже после стабилизации и для формирования картинки можно использовать всю площадь матрицы. Следовательно, достоинством OIS является минимальное влияние стабилизатора на получение и обработку изображения. Достоинствами EIS является компактность, отсутствие механики, высокая надежность и отказоустойчивость, малое энергопотребление, сравнительно низкая стоимость. Тем не менее, как уже говорилось, EIS отрицательно влияет на процесс формирования и обработки изображения с матрицы. Это приводит к различным искажениям изображения, в частности, «залипанию» изображения при панорамировании камеры — стабилизатор не сразу её «отпускает», отчего изображение движется рывками. Тот же эффект может проявиться и при съемке движущихся предметов — система EIS может «решить», что это перемещение относится ко всему изображению и начнет его стабилизировать, пытаясь вернуть изображение перемещающихся объектов на прежнее место. Таким образом, OIS эффективнее, чем EIS [54].

Защищенные фото- и видеокамеры имеют целый ряд режимов работы. Рассмотрим их [49, 50].

1. Режим Time Lapse. Это – череда фотографий, сделанная через определенный промежуток времени и соответственно создание ролика, ролик смонтированного из таких фотографий, и, как правило, с одной и той же точки. Интервал может быть от 1 с до нескольких часов. Такой режим называют еще покадровой съемкой, съемкой с интервалом или цейтраферной съемкой.

2. PASM – режимы фотосъемки:

- режим P – автоматический (program mode) автоматическая установка выдержки и диафрагмы,

- режим S (shutter) – приоритете выдержки, т.е. вручную выбирается выдержка камеры, а диафрагма подбирается на основании измерений экспонометра,

- режим A (aperture) – приоритет диафрагмы, т.е. вручную устанавливается диафрагма, а выдержка подбирается на основании измерений экспонометра,

- режим M (manual) – ручной режим, в котором и выдержка, и диафрагма определяются вручную.

3. Режим Live View. Это – использование ЖК дисплея в качестве видоискателя, на котором изображение просматривается в реальном масштабе времени. Этот режим используется, когда пользование видоискателем затруднено (например, камера стоит на земле), при съемки в условиях недостаточной освещенности, когда система автофокуса дает сбой, при использовании объективов с ручной фокусировкой.

4. Режим HDR (High Dynamic Range) – расширение динамического диапазона цифровой камеры, когда делается не один, а три снимка, фокусируясь при этом на различных по тональности точках, после чего три кадра объединяются в единую фотографию, на которой одинаково сбалансированы и темные, и светлые участки сцены. Этот режим нельзя применять при фотографировании подвижных объектов, при необходимости получить высококонтрастные изображения, насыщенных фотографий (HDR делает яркие детали значительно бледнее).

5. Режим макрофотографии – съемка близких объектов – в больших масштабах изображения (до 20 крат) или с малого расстояния (3 – 5 см).

6. Режим серийной съемки – съемка быстро движущихся объектов, при которой происходит создание не одного, а нескольких снимков при нажатии на спуск.

7. Режимы съемки в темноте: Night Shot (вводится ИК фильтр, отсекающий видимую область спектра), Super Night Shot (выдержка увеличивается с 1/50 с до 1/3 с и уменьшения частоты кадров, но можно снимать только неподвижные объекты), Balb (выдержка увеличивается так, что кадр экспонируется от нескольких минут до нескольких часов.)

8. Режим ISO – повышение чувствительности матрицы за счет повышения напряжения на каждом ее пикселе.

В защищенных фото- и видеокамерах могут в определенных пределах автоматически корректироваться программными методами виньетирование, дисторсия и хроматическая абберация объектива [51].

Защищенные фото- и видеокамеры оснащаются встроенными GPS- или ГЛОНАСС модулями, добавляющими координаты к снимкам или видео, а также электронным компасом, таймером, термометром, барометром, манометром, глубиномером, альтиметром в различных сочетаниях в зависимости от назначения камеры. Встроенный GPS-модуль дает сведения о географических координатах места съемки. Эти координаты могут заноситься в EXIF-данные, сопровождающие каждое фото. В памяти камеры может содержаться весьма объемная база данных точек POI.

В этих камерах осуществляется автоматический баланс белого – один из параметров метода передачи цветного изображения, определяющий соответствие цветовой гаммы изображения объекта цветовой гамме объекта. Это – технология коррекции цветов изображения до тех цветов, в которых человек видит объект в естественных условиях (объективный подход) или до тех цветов, которые представляются наиболее привлекательными (субъективный подход).

В камерах реализуется беспроводная передача изображения Wi-Fi и (или) Bluetooth.

В камерах используется стандарт записи видео Full HD. Это - разрешение 1920x1080 пикселей (точек). Стандарт используется для телевидения высокого разрешения и в видеокамерах. В них используются HDMI и USB разъемы, AV выходы, а также разъемы для карт памяти SD/SDHC/SDXC. В ряде камер используется программное обеспечение Camileo Uploader, позволяющее выложить отснятый материал на такие популярные сетевые ресурсы, как YouTube, Facebook, Picasa, TwitVid. В камерах используются форматы записи MPEG-2 MPEG-4, AVC/MOV(H.264), слот под карты памяти SD/MS. Носителями являются карты памяти flash, SD/SDXC, microSD/microSDHC. Для защиты от пыли и влаги камеры выполняются в соответствии со стандартами IP65, IP66, IP67.

В процессе выбора уличной видеокамеры возникают вопросы ее стоимости, наличия черно-белого или цветного изображения, рабочей освещенности, дальности видения без подсветки и при ИК подсветке, разрешающей способности, отношения сигнал/шум, типа карты

памяти, оптимального объема памяти, выбора типа носителя (MiniDV, DVD, HDD или Flash), формата видеозаписи (SD, HD Ready, Full HD). В состав комплекта видеокамеры должен входить видеорегистратор, во многих случаях – детектор движения, система дистанционной передачи видеоизображения. Видеорегистратор позволяет передать изображение не только в видеомонитор, но и в любой персональный компьютер и в смартфон, а также в Интернет. Видеокамеры работают как от сети 220В, так и от источников бесперебойного питания (6, 12, 24В). Благодаря технологии Wi-Fi можно дистанционно передать видеоизображения на любое мобильное устройство, указанное выше. При этом следует принять во внимание, что защищенные уличные видеокамеры бывают:

- цифровыми высокого разрешения (HD, от 700 ТВЛ), используемые для скрытого видеонаблюдения и слежки;

- аналоговыми, применяемыми для коммутации с большинством типов устройств, систем охранного наблюдения ЧОП, ПЦН и т.п.

- в зависимости от требуемой конструкции - купольными, стационарными и поворотными.

Уличное удаленное видеонаблюдение (онлайн) требует монтажа автономных IP-видеокамер, с ИК-подсветкой (день/ночь), зумом, датчиками движения для сокращения энергопотребления, всепогодными антивандальными кожухами и подогревом. В местах с невозможностью подключения проводки и кабеля для передачи видеосигнала может использоваться беспроводная (Wi-Fi, радиоканальная) связь, встроенные в камеру GPRS/3G/GSM модули, с записью на карту памяти или на виртуальные (серверные) хранилища. Миниатюрные видеокамеры, предназначенные для охраны периметров большой протяженности, рекомендуется сочетать с крупногабаритными муляжами под ИК камеры уличного видеонаблюдения для отпугивания злоумышленников. Это существенно сократит материальные затраты и повысит уровень безопасности объекта. Купольные видеокамеры могут осуществлять программируемый обзор сцены в широком угле поля зрения по горизонтали и по вертикали, а также обеспечивать пано-

рамную видеосъемку. С помощью компьютерной технологии полученное при этом изображение «сшивается» из отдельных отснятых его фрагментов и представляется пользователю в удобном для него виде. Перспективы развития защищенных уличных камер заключаются в их объединении с тепловизионным каналом. При этом получается система круглосуточного и всепогодного действия.

Таким образом, существует значительное количество защищенных фото- и видеокамер, способных удовлетворить самые разнообразные требования и пригодных для использования в широком диапазоне изменения внешних условий.

Список литературы:

1. Экшн-камера – Википедия. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Экшн-камера>.
2. Защищенная видеокамера Обзор. 32 предложения на Маркете. www.market.yandex.ru.
3. Защищенные видеокамеры – Результаты поиска – Яндекс Маркет. www.yandex-market.ru
4. Гутников А. 5 лучших защищенных фотокамер – Лайф хакер. www.lifehacker.ru/2013/12/23/5-lychix-zachhishennyx-fotokamer/
5. Пономареко А. Ferra.ru. Три метра под водой за три тысячи рублей. Обзор защищенной компактной камеры Nikon Cooplix S30. www.ferra.ru/digiphoto/review/Nikon-Cooplix-S30/
6. Водонепроницаемые фотоаппараты. www.diskus.ru/catalog/diving/cameras/?utm...
7. Камера с записью Rinotek LQ-3505D. www.hds-gsp.ru/shop/videodochki-rinotek/Rinotek-LQ-3505D.
8. JVC GC-XA1 Adixxon- защищенная видеокамера. www.electronics-review.ru/jvc-gc-xa1...videokamera/
9. Limix DMP-FT5 защищенная компактная фотокамера – Panasonic. Россия. www.panasonic.com.ru/consumer...cameras...cameras...
10. Обзор и тестирование защищенных видеокамер JVC GZ-R10, JVC GZ-R15 и JVC-RX115. www.ixbit.com/divideo/jvc-2014.shtml.
11. Экшн камера SJ 4000. Оригинал! Купить в Москве. www.bestdigitals.ru/product/ekshn-kamera-sjcam-sj-4000/
12. SJCAM SJ5000. Оригинальная экшн камера SJCAM, купить. droid-box.ru/market/SJCAM_SJ5000/?yclid=3538418506171941849.
13. Видеокамеры защищенные – Защищенные видеокамеры. www.magazilla.ru/m1_magazilla.php?katalog.

14. Видеокамеры для рыбалки Rivotek – купить в интернет-магазине Nav-Nav.ru. www.nav-nav.ru/shop/rybalka/videokamery-dlya-rybalky/?yelid=...
15. *Осадчий В.* Десятка лучших защищенных компактных фотокамер. www.mobiledevice.ru/70954-cyber-shot-cooplax-tough-...
16. Краткие обзоры популярных видеокамер, 2020-09-11-Fotomag.com.ua/tg/topic/kratkie-obzory... videokamer...
17. Купить экшн камеру в Москве, sjcam sj4000, sj4000wifi, sj5000plus, xiaomi yi. http://shoof-n-ioyru/sh/camera/?utm_aource...
18. Лучшие водонепроницаемые и защищенные камеры 2015 года – обзор и текст THD.RU. www.thd.ru/photo/luchiye_waterproof_kamery_2015/
19. Лучшие защищенные фотоаппараты 2014 года. www.top-camera.ru/best-cameras-by-type/rigged.
20. Лучшие защищенные фотокамеры-новинки. www.fotokomok.ru/lutshie-zsahhishhnyie-fotocamery...
21. Лучшие фотоаппараты 2015-2016-Photar.ru. www.photar.ru/best-cameras-2015-2016.
22. Новая статья. Обзор защищенной камеры Olympus Stylus Tough TG-850iHS гуттаперчивая. www.postsovet.ru/blog/asia/500174.html.
23. Новости и новинки видеокамер 2016. www.gadgrdet.com/news/video-cameras.
24. Динаев А. Камеры, устойчивые во всех отношениях. Обзор “защищенных” фотокамер. www.DGL.RU_Журнал Digital Word.dgl.ru/reviews/kamery-ustoychivye-vo-vseh...obzor...
25. Шундрин В. Какая фотокамера лучше для отпуска: защищенные фотоаппараты [www.MediaPure .ru/foto...zashishhennye-fotoapparat/](http://www.MediaPure.ru/foto...zashishhennye-fotoapparat/)
26. Лучшие фотоаппараты 2016 по версии «Продукты года». Dphotoworld.net/news/luchshie?fotoapparaty/_2016...
27. Защищенные видеокамеры для активных людей_СНТР Россия. www.ichip.ru/zaschischnie-videocameri-dlya-aktivnih...
28. Защищенные видеокамеры Мохы. Трехдневный технический тренинг по продукции MOXA. www.Moxa.ru/shop/lp/cameras/
29. Обзор видеокамеры Panasonic SDR-H100. www.vid.com.ua/article/991/obzor-videokamery...sdr...
30. Обзор защищенной видеокамеры JVC Everio GZ-R315. www.ixbit.com/jvc-2014.shtml.
31. *Клюшин Д.* Обзор защищенной видеокамеры JVC GZ-R10 SE Хай Тек. www.24hitech.ru/obzor-zahhishhennoj-videokamery-jvc...
32. *Урусов П.* Обзор защищенной видеокамеры Exilim EX-G1 gedgadget.com. www.gedgadget.com/Фото и видео/...obzor-zaschischnyj...
33. Обзор защищенной видеокамеры Nikon Coolpix AW100. www.tech.onliner.by/2012/01/29/Nikon_aw100/onliner.
34. Обзор защищенной камеры Olympus Tough TG-2iHS. www.sphotocam.ru/2013/11/19.
35. Обзор экшн-камеры GARMIN VIRB (VIRB ELITE). www.garmin.ru/about/posts.
36. Подводные фотоаппараты в интернет-магазине Фотокосмос. Купить подводные фотоаппараты. www.photocosmos.ru/category/fotoapparaty/podvodnye...
37. Видеокамера Go Pro CHDX-401 (HERO 4 Black Edition-Adventure. www.sport-marafon.ru/catalog/ekstremalnye-kamery/
38. Подводные камеры для зимы. www.navigation.shop.ru/catalog/product/podvodnaya-kamera-rivot.
39. Цифровое фото – Тест и обзор защищенной камеры Olympus TG-830_DNS. www.club.dns-shop.ru.
40. Новости и новинки видеокамер 2016. www.gagadget.com/news/video-cameras.
41. Советы по выбору цифровой видеокамеры – Видео/Форум. www.club.dns-shop.ru/Форум...
42. Электронная стабилизация изображения. www.nix-studio-edition.ru-soft/1155-stabilizacijizobrazheniya.html.
43. Стабилизаторы изображения, встроенные в фото-технику. www.photodzen.com/learn/photo-abc/stabilizatory-izobrazheniya-vstroennye/
44. Цифровые фотокамеры. Как выбрать фотокамеру? www.tech.dobro-est.com/tsifrovye-videokameryi-kak-vyibrat-videokameru.html.
45. Как выбрать видеокамеру? Выбор цифровой видеокамеры. www.vse-sekretu.ru/497-kak-vibrat-videokameru.html.
46. Как осуществляется оптическая и электронная стабилизация. <http://yandex.ru/images/search?>
47. Как работает оптический стабилизатор. www.videoton.ru/Articles/image_stabilizer.html.
48. *Довбня О.* Два метода оптической стабилизации изображения. www.androidinsider.ru/polezno-znat/dva-metoda-opticheskoy-stabilizatsii-izobrazheniya.html.
49. Режимы съемки. Их виды и особенности. www.fotoman.name/Rezhimy-semky-ix-osobennosti/
50. Какие режимы съемки бывают в видеокамерах. Как выбрать хорошую видеокамеру. www.jossy.ru/index.php/lyubopytnaya/291-kak-vibrat-videokameru.
51. Коррекция искажений, вносимых объективом. www.cambridgeincolour.com/tutorials-ru/lens-corrections.htm.
52. Принцип работы стабилизатора. www.fototechnic.ru/canon...stabilizator-izobrazheniya.
53. Системы стабилизации изображения. www.stop-kadr.famylyklub.com/ahowhread.php?t-840.
54. Цифровые видеокамеры. Как выбрать видеокамеру_Техника на «Добро есть». www.tech.dobro-est.com.
55. Тега: видеокамеры. hpw.ru.

Таблица 1. Основные параметры защищенных цифровых фотоаппаратов (по данным проспектов фирм)

№ п/п	Фирма, модель	Тип матрицы, формат, число пикселей	Разрешение фото/видео съемки, пиксели	Глубина погружения, м	Тип стабилизации изображения	Число кадров в с/угол поля зрения, град.	Тип дисплея, формат, разрешение, точки	U, В/С, МА/ч/Т _{нр} час (число кадров)	ΔD, м	Объектив, F _{об} , мм, O, Γ _{зум} крат	Масса, г/габариты, М/Δt _р , °C	ISO/c	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Nikon, Coolpix 530	ПЗС, 1/3", 10		3/-			ЖК, 2,7", 230000	3/-		29,1-87,3 (1:3,5)-(1:5,9)	214/101,9x 64,8x39,4/-	-1 – 1/2000	Формат JPEG, формат MPEG-4
2	Sealife, DC140HD	КМОП, -, 14	4288x 3216/3264 x2448	60/-	ОСИ	30/-	ЖК, 3,5"	3,7/700/ 2(200)	0,25-∞	4,7-23,5 (1:2,8)-(1:7,9), Γ _{зум} = 25 ^х ; Γ _{зум} = 5 ^х (о), Γ _{зум} = 5 ^х (ш)	504/93x135 x71 (с боксом) 134/60x97x 19 (без бокса)	64 – 3200/-	
3	Sony, Cyber-shot DSC-7X30 (подводный)	КМОП BSI, 1/2,3" 18,2	4896x 3672/1920 x1080	10/1,5	ОСИ	30/-	ЖК, 3,3", 1228800	-/(250)	0,01-∞	26-130, (1:3,5)-(1:4,8), Γ _{зум} = 20 ^х ; Γ _{зум} = 5 ^х (о), Γ _{зум} = 4 ^х (ш)	-/86x59x 15/(-10)-(+40)	80-12800/-	D _{вспышки} =3,3 м
4	Olimpus, TG-860IE	КМОП, 1/2,3", 16	4680x 3456/1920 x1080	15/2,1	ОСИ	240/-	ЖК, 3", 460000	-/(330)	0,01-∞	21-105, (1:3,5)-(1:5,7), Γ _{зум} = 20 ^х ; Γ _{зум} = 5 ^х (о), Γ _{зум} = 4 ^х (ш)	-/113x64x28(-10)-(+40)	125-6400/ 1-1/2000	D _{вспышки} до 4 м, есть компас, барометр, таймер, GPS, Wi-Fi
5	Nikon, Coolpix AW130	КМОП, 1/2,3", 16	4680x 3456/1920 x1080	30/2	ОСИ	120/-	ЖК, 3", 921000	-/(370)	0,01-∞	24-120, (1:2,8)-(1:4,9), Γ _{зум} = 20 ^х ; Γ _{зум} = 5 ^х (о), Γ _{зум} = 4 ^х (ш)	-/110,4x66x 26,8(-10)-(+40)	100-6400/4-1/5000	D _{вспышки} до 5,2 м, есть компас, барометр, таймер, GPS, Wi-Fi
6	Canon, Power Shot D30	КМОП, 1/2,3", 12,1	4000x 3000/1920 x1080	25/2	ОСИ	240/-	ЖК, 3", 461000	-/(300)	0,01-∞	28-140, (1:3,9)-(1:4,8), Γ _{зум} = 20 ^х ; Γ _{зум} = 5 ^х (о), Γ _{зум} = 4 ^х (ш)	-/109x68x28(-10)-(+40)	100-3200/ 15-1/1600	D _{вспышки} до 3,5 м, есть компас, таймер, GPS, Wi-Fi
7	Olimpus, Tough TG-3	КМОП, 1/2,3", 16	4608x 3456/1920 x1080	15/2,1	ОСИ	240/-	ЖК, 3", 460000	-/(330)	0,01-∞	15-100, (1:2)-5 ^х (о), Γ _{зум} = 4 ^х (ш)	-/(-10)-(+40)	100-6400/ 4-1/2000	D _{вспышки} до 7,9 м, есть компас, барометр, таймер, GPS, Wi-Fi, выдерживает удары до 100 кг
8	Panasonic, Lumix DMC-FT5	КМОП, 1/2,3", 16	4608x 3456/1920 x1080	13/2	ОСИ	60/-	ЖК, 3", 460000	-/(370)	0,05-∞	28-12868, (1:3,3)-(1:5,9), Γ _{зум} = 4,6 ^х (о), Γ _{зум} = 4 ^х (ш)	-/109x67x 29/-	100-6400/4-1/4000	ИК подсвет до 7,9 м, есть компас, барометр, альтиметр, таймер, ГЛОНАСС, GPS, Wi-Fi,

9	Ricoh, WG-4	КМОП, 1/2,3", 16	4608x 3456/1920 x1080	14/2	ОСИ	30/-	ЖК, 3", 460000	-/(240)	0,01-∞	25-100,(1,2)-(1:4,9), Г _{зум} =4 ^x (o), Г _{зум} =7,2 ^x (u)	-/125x65x 32/(-10)-(+40)	100-6400/4-1/4000	ИК подает до 10,4 Мг, есть дистанционное управление
10	Olimpus TG-830	КМОП, 1/2,3", 16,1	4608x 3456/1920 x1080	10/2,1	ОСИ	30/-	ЖК, 3", 460000			25-125, (1:3,9)-(1:5,9), Г _{зум} =5 ^x (o)	213/109x 66x28/(-10)-(+40)	100-6400/-	Карта памяти SDXC, microSDMI
11	Ricoh, WG-30W	КМОП, 1/2,3", 16,1	4608x 3456/1920 x1080	12/5	ОСИ	-/170				25-100, Г _{зум} =5 ^x (o)		До 6400/-	64 ИК СД, ночной режим, Wi-Fi
12	Fulfiloni, FinePix XP80	КМОП, 1/2,3", 16,1	4608x 3456/1920 x1080	15/1,7	ОСИ					Г _{зум} =5 ^x (o)			
13	Go Pro, Hero 3+Black Edition	КМОП, 1/2,3", 12	4608x 3456/1920 x1080	40-60/-	ОСИ	15/-				Г _{зум} =5 ^x (o)			
14	Nikon, LAW1	КМОП, 1/2,3", 14		15/2	ОСИ					Для работы под водой: 10, 1:2,8 и 11-27,5, (1:3,5)-(1:5)	315/100x73x38		Для глубины погружения 100 м используется вспышка Nikon SO-N10 Speedlight, для работы не под водой - GPS
15	Nikon, Coolpix AW120	КМОП, 1/2,3", 16		18/-	ОСИ, 5-м осевая гиростабилизация, ЭСИ		OLED, 921000			24-120	-/(-10)-(+40)		Есть высотомер, глубиномер, барометр, ГЛОНАСС/GPS, WiFi
16	Fujifilm, Fine Pix XP70	КМОП, 1/2,3", 16		10/1,5	ОСИ	10/-				28-140	160/(-10)-(+40)		Запись в Full HD, есть WiFi, видеоре гистратор с объективом с F _{об} = 18 мм
17	Olympus, TG-Tracker	КМОП, 1/2,3", 16	3840x 2160/-	30/2,1	ОСИ, 5-м осевая гиростабилизация	30, 60/204	ЖК откидной, 1,5", 115200	3,6/ 1350/ 1,5		13,9	180/93,2x 56,5x35		Есть манометр, альтиметр, термометр, барометр, глубиномер, высотомер, акселерометр, встроенный фонарь (световой поток 60 лм)
18	Olympus Tough TG-870	КМОП, 1/2,3", 16		15/2	ОСИ, 5-м осевая гиростабилизация		ЖК поворотный, 3", 920000			21-105, Г _{зум} =5 ^x (o)	-/(-10)-(+40)		Выдерживает усилии до 100 кг, есть GPS, съемка в режимах Wi-Fi, Sport Cam, Sport Burst, Live Composite, ночная съемка
19	Kikstarter, YoCam	КМОП, 1/2,3", 8	2,7К	6/-	ОСИ	30, 120/140					55/85x30x 21/-		Режим HDR
20	Ricoh, WG-M2		3840x 2160/1920 X1080	20/2	ОСИ	30, 60, 120/ 202 (фото), 204 (видео)	ЖК, 1,5"	-/1,3			136/77,8x 57,4x64,1	200-6400/-	Есть Wi-Fi, режимы съемки Time Taspe, Endless Reading, High Speed Movie
21	LEICA, X-U (Typ 113)	КМОП, 1/2,3", 16,5	-/1920x 1680	15/-	ОСИ	30/-	ЖК, 3", 920000	3,7/ 1600/ (450)	0,2-∞	23, 1:1,7	635/140x 79x88/-	-/30-1/2000	Запись в Full HD

Продолжение таблицы 1.

22	Sea life, Micro 2.0	КМОП, 1/2,3", 16	-/1920x1680	60/-	ОСИ	30, 60/130, 100, 80	ЖК 2,4"	3,7/2400/-	25, 1:2,8	266/107x53x74	-/125-1/2000 (на суше), 1/45-1/2000 (под водой)	Встроенная память на 64 Гб, съемка Full HD, MPEG 4 H.264, JPEG, есть макроковертер 10 ^х для съемки крупным планом
23	Olympus Tough TG-4	КМОП, 1/2,3", 16	-/1920x1680	15/-			ЖК, 3", 460000		25-100, (1:2)-(1:4,9)			Нет видеоканала, есть GPS, WiFi
24	Olympus Stylas Tough TG-850	КМОП, 1/2,3", 16,8	4608x3456/1920x1080	10/2,1			ЖК, 3", 461000		3,74-18,7, (1:3,5)-(1:5,7)	218/109x64,1x27,6/(-10)x(+40)	125-6400/1/2-1/2600	Формат фотокадра JPEG, видео - Motion JPEG
25	Olympus Tough TG-2HS	КМОП, 1/2,3", 12,75	3264x2448/1920x1080	15/2,1			OLED 3", 610000		25-100, (1:2)-(1:4,9)	230/115x66,51x29,1/(-10)x(+40)	100-6450/1/4-1/2000	Есть стереоаудиоканалы
26	Olympus Tough TG-IHS	КМОП, 1/2,3", 12,75	4608x3456/1920x1080	15/2,1	ОСИ, ЭСИ	7, 30, 50, 60/-	OLED 3", 610000		21-105, (1:3,5)-(1:5), Г _{зум} =5 ^х (0), Г _{зум} =4 ^х (0)	218/110x64x28/(-10)x(+40)	125-6450/1/4-1/2000	Есть форматы изображения Full HD, JPEG 4
27	Panasonic Lumix DMC-FT30	КМОП, 1/2,3", 16,1	4608x3456/1920x1080	8/1,5		250/-	ЖК, 2,7", 230000		25-100, (1:3,9)-(1:5,7), Г _{зум} =5 ^х (0), Г _{зум} =4 ^х (0)	-/(-10)x(+40)	-/60-1/1299	Формат изображения JPEG, H.264
28	Fujifilm, FinePix XP-80	КМОП, 1/2,3", 16,4	4608x3456/1920x1080	15/1,75		60/-	ЖК, 2,7", 230000		28-140, (1:3,9)-(1:4,9), Г _{зум} =5 ^х (0), Г _{зум} =2 ^х (0)	-/104x69x26/(-10)x(+40)	100-3200/4-1/2000	Дальность до 4,4 м, есть видеоканал
29	Nikon Coolpix S33	КМОП, 1/2,3", 13	4608x3456/1920x1080	10/1,5		4, 7, 25, 30/-	ЖК, 2,7", 230000		30-90, (1:3,3)-(1:5,9), Г _{зум} =3 ^х (0)	-/109,5x67x37,6/-	125-1600/4-1/2000	Дальность до 3,1 м
30	Olympus Tough TG-820HS	КМОП, 1/2,3", 12	4608x3456/1920x1080				ЖК, 3", 1030000		28-140, (1:3,9)-(1:5,9)	190/101x65x26/-	100-6400/4-1/2000	
31	Panasonic Lumix DMC-FT4	КМОП, 1/2,3", 12	4608x3456/1920x1080				ЖК, 2,7", 230000		28-128,8, (1:3,9)-(1:5,9)	175/104x64x27/-	100-6400/30-1/1300	
32	Sony Cyber-shot DSC-TX20	КМОП, 1/2,3", 12	4608x3456/1920x1080				ЖК, 3", 9216000		25-100, (1:3,5)-(1:4,6)	118/95x56x18/-	125-3200/1/1D	
33	Nikon 200LPix AW-100	КМОП, 1/2,3", 12	4608x3456/1920x1080	10/-		30/-	ЖК, 3", 460800		25-125, (1:3,9)-(1:4,8), Г _{зум} =5 ^х (0), Г _{зум} =4 ^х (0)	178/110x65x23/-	125-3200/-	Вешетка - белый СД, есть GPS
34	Casio, Exilim FX-G1	ПЗС, 1/2,33", 12,1	4608x3456/1920x1080	3/1,5		30/-	ЖК, 2,5", 230400	3,7/700/(150)	38-144, (1:3,9)-(1:5,4)	154/104x64x20/(-10)x(+40)	64-3200/4-1/1250	

Примечания: ОСИ – оптическая стабилизация изображения, ЭСИ – электронная стабилизация изображения, U – напряжение питания, C – емкость аккумулятора, T – время непрерывной работы, ΔD – диапазон фокусировки, f_{об} – фокусное расстояние объектива, O – его относительное отверстие, Γ_{зум} – увеличение зум (0 – оптическое, ц – цифровое), Δt – диапазон рабочих температур, S – чувствительность, t – длительность экспозиции (вспышки), D_{вспышки} – дальность действия вспышки, ИК – инфракрасный, СД – светодиод.

Таблица 2. Основные параметры защищенных цифровых видеокамер (по данным проспектов фирм)

№ п/п	Фирма, модель	Тип матрицы, формат, число пикселей	Разрешение фото/видео съемки, пиксели	Глубина погружения, м	Тип стабилизации	Число кадров в с/угло поля зрения, град.	Тип дисплея, формат, разрешение, точки	U, В/С, Т _н , час (число кадров)	ΔD, м	Объектив, F _{об} , мм, O, Γ _{зум} , крат	Масса, г/габариты, м/ΔT _р , °C	E _{мин} дк	Примечание
1	JVC GZ-R315	КМОП, 1/5,8", 2,07	3680x2760/1920x1080	10/-	ЭСИ	50/-	ЖК, 3"	3,7/5200/-	10	40,5-1620, (1:1,8)- (1:6,3), Γ _{зум} =40 ^x	288/60x57,5x122	13	14
2	Go Pro, Bullet HD Pro 4	КМОП, 1/3"	2592x1944/1820x1080	10/-	ОСВ	30,160/130		3,7/1000		115/104x32x32/(-10)-(+40)			
3	СНТР, iSAW A1	КМОП	-/1280x720			30/120		3,7/1200		65/42x60x30/-		0,8	
4	СНТР, AD-VOCAM FD3	КМОП	-/1920x1080			60/160		3,7/1400		81/50x85x23/-		0,5	
5	СНТР, GOR-GO HERO 2	КМОП	-/1920x1080			60,120/70-90		3,7/1100		150/72x66x48/-		0,84	
6	Go Pro, ION The Game (ION 1007)	КМОП, -, 5	-/1920x1080	3/-		-/120	ЖК цветной	3,7/1200/-		145/66x38x85/-			Стандарт видеозаписи Full HD, есть Wi-Fi
7	Go Pro, Pavk City GO 10 PRO	КМОП, -, 1,3	-/1920x1080	10/-		-/120	ЖК цветной, 2"						Носители для записи Micro SD, Micro SDHC, Micro SDXC (до 32 Гб)
8	Go Pro, GOPGO HD HEROS 3+ (GHDHN-302)	КМОП, 1/2,3", 11	-/1920x1080	60/-		60/-	Нет ЖК экрана	-/2,5			74/-	0,84	Есть Wi-Fi
9	Sony, HDR-AS20B	КМОП, 1/2,3", 11,9	-/1920x1080	5/-		30/170 (f _{об} =15 мм) или 120 (f _{об} =21,3 мм)	ЖК	3,7/1240/-	0,3-∞	15,3,1:2,8, (2ω=170°), 21,3, 1:2,8, (2ω=120°)	83/24,5x47x82/-	6	Есть Wi-Fi
10	Go Pro, HERO 4 (HDHX-401)	КМОП, 1/2,3", 12	4000x3000/3480x2160	40/-		2, 7, 30, 120/-							Объем памяти до 64 Гб, есть ночной режим, дистанционное управление до 180 м, есть Wi-Fi, Bluetooth
11	Rivotech, LQ-3500T25	КМОП		15/-	ОСИ	30/135	ЖК, 3,5", 76800, потребляет 15 Вт	3,7/-/7,5		Камера: 12/020x31/(-20)-(+60) Дисплей: -/110x76x18/-			Выдерживает натяжение с усилием до 20 кг, есть ночной режим
12	SJCAM, SJ5000	КМОП, 1/2,3", 14	4254x3264/4000x3000	30/-		30/170		5/5			58/69x41x24,7		Слот для карты памяти до 32 Гб, видеокompрессия H.264
13	Kodak Pixpro SPZ1	КМОП, 1/2,3", 14,41	4320x3240/1920x1080		ЭСИ	120/-	ЖК, 2,5"			35-105, (1:2,8)- (1:4,6), Γ _{зум} =3 ^x (0),	130/56,6x110,6x21,7/-		Карты памяти microSD, microSDHC

Продолжение таблицы 2.

14	JVC, GZ-RX510	КМОП, 1/5,8", 20,4	3680x2760/1920x1080		ЭСИ							40,5-1620, (1:1,8)- (1:6,3), Г _{зум} =40 ^x (0),	292/60x59,5x122/-	Собственная память 16,5 Гб, есть Wi-Fi
15	Fish Cam, IQ-3501 (Видеоглаз 2)	КМОП, 0,25"	800 ТВ линий	15/-		-/150	ЖК, 3,5", 76800					Камера: 15/020x34/(-20)-(+60) Дисплей: 180/110x76x18/(-20)-(+60)	Есть 8 ИК СД, разрывная нагрузка 25-35 кг	
16	Lucy, FF3308-8		420 ТВ линий	20/-		-/120	ЖК, 368008					950/250x110x170/(-5)-(+60)	Есть 4 ИК СД	
17	Panasonic, SW20	ПЗС, 1/6", 0,8	720x576	1,5/1,2	ОСИ		ЖК, 2,7", 123200					2,3-23, (1:1,8)- (1:2,4), Г _{зум} =10 ^x (0), Г _{зум} =700 ^x (ц)		
18	iSAW A1	КМОП	-/1280x720			30/120						65/42x60x30/-	0,8	
19	ADVOCAM PD3	КМОП	-/1920x1080			60/160						81/50x85x23/-	0,5	
20	Sony HDR-100VW	КМОП, 1/2,3", 13,5	-/1920x1080	5/-	ОСИ	30/170	ЖК	3,7/1240/-	0,3-∞	2,8	92/24,2x46,5x81,5/-	Формат видеозаписи MPEG-4, H.264, есть Wi-Fi, GPS		
21	SJCAM, 5000X Elite	КМОП, 1/2,3"	2560x1440/1920x1080	30/-	ОСИ	120/170	ЖК, 1,5"				74/-	Есть Wi-Fi		
22	XIAOMI Yi4K	КМОП, 1/2,3", 12			ОСИ	30/155	ЖК, 2,19", 230400	3,85/1400/2		1:2,8	58/29,8x59,2x41/- или 46/59,2x29x41/-			
23	SJCAM, SJ4000	КМОП, 1/2,3", 12	4000x3000/1920x1080	30/-		30, 60, 80/170	ЖК, 1,5", 228000	3,7/900/-		Г _{зум} = 4 ^x (ц)	58/29,8x59,2x41/- или 46/59,2x29x41/-	Формат видеозаписи MOV, цифровая запись видео, слот для карт памяти до 32 Гб		
24	Film Power, ROXOR	КМОП, 1/2,3"	4К		ОСИ (3-х осевая)	60, 120/-	ЖК, 2", 460800				504/270x95x110/-	Есть дистанционное управление, Wi-Fi, съемка в режиме Full HD, Time Lapse, MirrorSD на 32 Гб		
25	Go Pro, HERO 4, Session	КМОП, 1/2,3", 8	3264x2448/1920x1080	40/-	Нет	60, 100/-	Нет				74/38x38x38	Двойная система микрофонов, есть W-Fi, запись в режиме MPEG 4, H.264		
26	Garmin, VIRB X (VIRB XE)	КМОП, 1/2,3", 12,4			ОСИ			3,7/980/2			152/77x40,6x36,8/-	Есть акселерометр, Wi-Fi, Bluetooth, поддержка ANT+		
27	XIAOMI Yi Action	КМОП, 1/2,3", 16		40/-		60/155					72/-	Видеозапись в формате Full HD, емкость встроенной памяти 64 Гб		

Продолжение таблицы 2.

28	Fujifilm, fps 1000	2560x2480/640x480							5/-/-		50, 1:1,4			Высокоскоростная видеосъемка, видеозапись в формате Full HD
29	Ricoh, WG-MI	-/1920x1080	ЭСИ	10/2		75, 1500/-	ЖК, 1,5"		-/-/2,5		3, 1:2,8	190/66x43x89/-		Есть W-Fi
30	Panasonic, HX-A500	4К/1920x1080		3/-		25, 30, 60/-	ЖК, черно-белый, только служебная информация							Есть W-Fi
31	Explay, DVR-017 Shot Camera			20/-		30/120						80/30x52x26/-		Видеозапись в формате Full HD
32	Toshiba, Camelio X-Sports	-/1920x1080		60/1,5		30, 60/-	ЖК, 2"		-/-/2			94/73x49,5x29,5/-		Есть W-Fi и пульт дистанционного управления
33	Sony, Handycam HDR-GWP88VB с проектором	-/1920x1080	ОСИ	10/1,5			ЖК, 3"				29,8, $\Gamma_{\text{зум}}=10^{\times}$	210/40x108,5x70(-10)-(+40)		Видеозапись в формате Full HD, есть GPS
34	Sony, Handycam HDR-GW66VE	-/1920x1080		10/1,5							29,8-298, $\Gamma_{\text{зум}}=10^{\times}$	190/32,5x108,5x70(-10)-(+40)		Видеозапись в формате Full HD, встроенная память на 16 Гб
35	Panasonic, SDR-H100		ОСИ Advanced OIS				ЖК, 2,7", 123200		3,7/1790/-		33,5-2625, (1:1,9)-(1:5,7), $\Gamma_{\text{зум}}=78^{\times}$ (о), $\Gamma_{\text{зум}}=3500^{\times}$ (и)	273/55,1x64x107,3/-		Встроенная память на 80 Гб
36	JVC, GZ-R10SE			5/1,5					5/1000/4,5		45-1260, (1:1,8)-(1:6,3)	-/-(-10)-(+40)		Видеозапись в формате MPEG 4, AVC, H.246, Full HD, слот для карт памяти SDHC/SDXC до 128 Гб
37	JVC, GZ-R10	-/1920x1080		5/1,5			ЖК, 3", 230000				2,9-116, (1:1,8)-(1:6,3), $\Gamma_{\text{зум}}=40^{\times}$	-/122x60x86(-10)-(+40)		Карта памяти до 64 Гб, беспроводная видеозапись до 5 часов
38	Garmin, VIRB ELITE	4664x3496/1920x1080	ЭСИ	1/-		30, 48, 100/-	ЖК, 1,4"		3,7/2000/3			125/32x53x111(-15)-(+60)		Есть Wi-Fi

Примечания – см. примечания к таблице 1; E_{min} – минимальная рабочая освещенность матрицы видеосъемки, 2 ω – угол поля зрения

Таблица 3. Основные параметры уличных защищенных цифровых видеокамер (по данным проспектов фирм)

№ п/п	Фирма, модель	Тип видеокамеры	Тип матрицы, формат, число пикселей	E _{мин} , лк	Разрешение, пиксели	Угол поля зрения, град.	Время срабатывания затвора, с	С/ш, дБ	Число кадров в секунду	Объектив, f _{об.} , мм, O, Γ _{зум} , крат	Масса, г/габариты, м/ΔT _р , °C	ΔT _р , °C	U, В/Р ^{зв} , Вт/С, мА/ч	Дальность ИК подсвета, м	Примечание
1	MOXA, VPORT P16-1MP-M12-CAM80	Купольная	КМОП, 1/2, 7"	0,2 (шв) 0,05 (ч-б)	1280x800	38x24 (обзор 180°)	1/30-1/25000	50	30	8, 1:1,8, Γ _{зум} =2-64x	-125x120x125	(-25)-(+55)	-5/-	15	Есть видеонаблюдение и АРУ
2	AltCam, IBC13IR	Купольная IP	КМОП, 1/4", 1	0 (при ИК подсвете)	1280x720					3,6	130/78x120x90	(-10)-(+60)	5/-/650	10	Есть 2 микрофона и динамик, детектор движения, режим день/ночь, память до 64 Гб, Wi-Fi
3	AltCam, IBC14IR	Купольная IP	КМОП, 1/4", 1	0 (при ИК подсвете)	1280x720						200/115x147x138	(-10)-(+60)	5/-/700	10	См. п.2
4	Dahua DH-HAC-HFW 2220SP060	HD-CVI видеокамера	КМОП с прогрессивной разверткой, 1/2,8", 2,4	0 (при ИК подсвете)	1280x720	53			25/30	6		(-30)-(+60)	12/4,8/-	30	Режим день/ночь, остальное – см. п.3
5	Dahua DH-HAC-HFW 2220SP0800B	HD-CVI видеокамера	КМОП с прогрессивной разверткой, 1/2,8", 2,4	0 (при ИК подсвете)	1280x720	39				8		(-30)-(+60)			См. п.3
6	Giraffe, GF-IPR 4353 MP2.0 IP	Уличная с ИК подсветом	КМОП, 1/2,3", 2	0,6 (без подсвета) 0 (с ИК подсветом)	1920x1080				25		Ø75x145	(-10)-(+60)	12/-/-	50	
7	Giraffe, (GF-IR 1352), GF-IPR4258 MP5.05 MP1X	Уличная с ИК подсветом	КМОП, 1/2,3", 2	0,1 (без подсвета) 0 (с ИК подсветом)	2560x1920				6	3,6, 1:1,4	-60x60x140	(-10)-(+55)	12/-/-	30	
8	Polyvision PN-043-B3.61R	Уличная цветная антивандальная			800 ТВ линий					3,6			12/-/-		
9	ЭВС, VEN-356-IP-N	Цветная на кронштейне	КМОП, 1/2,3", 3,2	0,2 (шв) 0,1 (ч-б) 0,03 (режим накопления)	1250 ТВ линий, 2048x1536						-126x280x376	(-50)-(+50)	9-14/3-4,3/-		Компрессия MPEG 4, H.264

10	ЭВС, VSH-551	Цветная	ПЗС, 1/3"	5x10 ⁻³ (без подсвета) 0 (с ИК подсветом)	380 ТВ линий			25	2,8	1300/99x60x3 2,5	(-10)- (+50)	9-14/3- 4,3/-		
11	SA- TIVISION, SVI- C111W-N	Wi-Fi, IP камера	КМОП, 1/3", 1,3	0,01 (без подсвета) 0 (с ИК подсветом)	1280x960		1/50- 1/5000 0	25	2,8	350/99x60x 32,5	(-10)- (+50)	12/5/-	5	
12	SA- TIVISION, SVCS19 2,8	Уличная с ИК подсветом	КМОП, 1/4", 1	0,01 (без подсвета)	1280x720		1/50- 1/1000 00	48	2,8	300/185x69x7 5	(-40)- (+50)	12/4/-		Гамма-коррекция 0,45
13	Wireless camera, БУСВУ	Уличная с ИК подсветом	ПЗС Sony, 1/3"	0,01 (без подсвета) 0 (с ИК подсветом)	480 ТВ линий, 752x582 Или 752x492			48		ТВ камера: 425/130x80x8 0 (без крон- штейна), Базовый блок: 120/ 80x125x20	(-40)- (+50)	12 или ~220В 50 Гц/- /-	20-25	Дистанционная передача изобра- жения с увеличе- нием на 250 м
14	SA- TIVISION, SVC-S69V	Уличная с ИК подсветом	КМОП, 1/4", 1	0,01 (без подсвета) 0 (с ИК подсветом)	1280x720			48	2,8-12	968/282x97x8 2	(-40)- (+50)	12/6/-	40	Гамма-коррекция 0,45
15	SA- TIVISION, SVC-S192 3,6 (AHD)	Уличная с ИК подсветом	КМОП, 1/3", 2	0,01 (без подсвета) 0 (с ИК подсветом)	1920x 1080		1/50- 1/5000 0	48	3,6	968/200x65x6 6	(-40)- (+50)	12/4/-	30	Гамма-коррекция 0,45
16	VNGXEH- HVFA121 R	Цветная с ИК подсветом	КМОП, 1/3"	0 (с ИК подсветом)	650/700 ТВ линий				2,8-12	860/88x96x 378	(-30)- (+50)		30	Аналоговая, нет аудиоканала
17	HK- VISION, DS-2CD 6332FWD- IS	Уличная IP с ИК подсветом	КМОП с про- грессивной разверткой, 1/3", 3		2048x1536, 1536x1536 (мультиме- дийный режим 1600x1200 (панорамная съемка) 3072x2048, 2048x2048, 1280x1280 (мультиме- дийный режим) 2048x1536 (панорамная съемка)			25 20 20	1,19, 1:2,8	668/164x152, 8x43,8	(-30)- (+60)	12/-/-	15	Встроенный сплот для карт памяти SD/SDXC до 64 Гб, есть аудиоканал
18	HK- VISION, DS-2CD 6332F-IS	Уличная IP с ИК подсветом	КМОП, 1/1,8", 6	0,05 (без подсвета) 0 (с ИК подсветом)	360 (панно рамная съемка)			25	1,27, 1:2,8			12/-/-	15	См. п. 17

Продолжение таблицы 3.

19	HIK- VISION, DS-2CE 56DST- VPIR3	Купольная	КМОП, 1/3", 2	0,01 (без подсвета) 0 (с ИК подсветом)	1080x1080	105,2-32,8		120	2,8-12	880/145x32x1 24,2	(-40)- (+60)	40	Есть детектор движения, маски- ровка – 8 зон, OSD-меню
20	HIK- VISION, DS-2CDE 7184-A	Купольная поворотная	КМОП с про- грессивной разверткой, ½,8", 3	0,05 (без подсвета) (1:1,8) (шв), 0,01 (без подсвета) (ч-б), (1:1,6), 0 (с ИК подсветом)	1920-1080				4,7-94	5500/Ø220x3 53,4	(-40)- (+65)	120	Формат H.264/MJPEG, слот для mi- croSD/SDHC, память до 128 Гб
21	HIK- VISION, DS-2DF 5284-AEL	Купольная ско- ростная поворот- ная	КМОП с про- грессивной разверткой, ½,8", 3	0,3 (без подсвета) (1:1,8) (шв), 0,02 (без подсвета) (ч-б), (1:1,6), 0 (с ИК подсветом)	1920-1080				4,7-94, $\Gamma_{\text{зум}}=20^{\times}$ (о), $\Gamma_{\text{зум}}=$ 16 ^х (ш)	4000/ Ø220x325,5	(-60)- (+65)	24/60/-	Дневно-ночная, есть режим авто- слежения, аудио- запись, формат видеоъемки H.264
22	HIK- VISION, DS-2DF 7284-A	Купольная	КМОП, 2	0,05 (без подсвета) (1:1,8) (шв), 0,005 (без подсвета) (ч-б), (1:1,6), 0 (с ИК подсветом)	1920-1080				4,7-94, $\Gamma_{\text{зум}}=20^{\times}$ (о)	5500/ Ø245x399	(-40)- (+65)	120	Слот для mi- croSD/SDHC, память до 32 Гб
23	SA- TIVISION, SVC-D79	Купольная цветная	КМОП, 1/4", 1 1,3	0,05 (без подсвета) 0 (с ИК подсветом)	1280x720			50	3,6	210/Ø56x55	(-10)- (+45)	10	OSD-меню, гам- ма-коррекция 0,45
24	SA- TIVISION, SVI-D112- N	Купольная IP	КМОП, 1/3", 1,3	0 (с ИК подсветом)	1280x960			25	3,6	383/Ø110x97	(-10)- (+50)		Формат видео- съемки H.264
25	SA- TIVISION, SVI-S112- N PoE	Купольная IP	КМОП, 1/3", 1,3	0 (с ИК подсветом)	1280x960, 1280x720			25	3,6	383/200x65x6 5	(-10)- (+50)	20	Формат видео- съемки H.264

Примечания – см. таблицу 1, 2, цв – цветное, ч-б – черно-белое изображение

О ПРЕДЕЛЬНО ДОСТИЖИМОЙ ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ

ОВСЯННИКОВ В.А., ОВСЯННИКОВ Я.В., ФИЛИППОВ В.Л.

АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», г. Казань

E-mail: gipo@telebit.ru

Аннотация: Предложена методика расчета предельно возможной дальности обнаружения и распознавания объектов посредством несканирующих тепловизионных приборов воздушного и наземного базирования, использующих идеальные основные компоненты – объектив и фотоприемное устройство – и работающих в контрастно-ограниченном режиме, определяемом ограниченной контрастной чувствительностью зрительного аппарата оператора. Степень приближения фактически достигаемой дальности действия прибора с реальными компонентами к предельно достижимой может служить интегральной оценкой их качества.

Ключевые слова: тепловизионный прибор, дальность действия.

Основным направлением развития тепловизионных приборов (ТВП) в настоящее время является разработка несканирующих, или «смотрящих», ТВП 3-го поколения, использующих матричные фотоприемные устройства (ФПУ) и имеющих целый ряд специфических особенностей, к которым относятся [1]:

- сравнительно длительное накопление сигналов в элементах фотоприемника и, как следствие, возможность достижения весьма малых значений разности температур, эквивалентной шуму, что, обеспечивая эффективную работу ТВП, например, в неблагоприятных погодных условиях или при наблюдении слабоконтрастных или замаскированных объектов, «приближает тепловизионные изображения по информационной емкости к зрению человека и позволяет совершить качественный переход: от видения источников тепла к видению в тепловых лучах» [2];

- наличие выборки (дискретизации сигнала)

в обоих направлениях и, возможно, микросканирования, что вызывает необходимость соответствующей модификации традиционных основных технических параметров и характеристик ТВП и методов их измерения, обусловленной, в частности, возникновением псевдочастот, отсутствующих в спектре оригинального видеосигнала, и соответствующих артефактов изображения;

- появление на тепловизионном изображении дополнительного, пространственного, или геометрического, шума, связанного, в основном, с остаточным (после коррекции) разбросом интегральной чувствительности элементов ФПУ и, следовательно, в отличие от временного, коррелированного в смежных кадрах ТВП.

При этом высокие обнаружительные и геометрические характеристики современных ФПУ, определяет возможность их работы в условиях, близких к режиму ограничения шумом фона, и достижение, в сочетании с высокока-

чественной оптикой, углового разрешения ТВП, приближающегося к предельному, ограниченному лишь дифракцией объектива и турбулентностью атмосферы.

Практически во всех опубликованных к настоящему времени в отечественной литературе методиках расчета важнейшего показателя эффективности наблюдательных ТВП в статическом (без учета поиска объектов) режиме работы – дальности действия (например, [3-6]) молчаливо подразумевается, что возможности ТВП по вскрытию – обнаружению и распознаванию – объектов ограничиваются шумом прибора. Однако при малых значениях разности температур, эквивалентной шуму, характерных для несканирующих ТВП на квантовых ФПУ, уменьшение коэффициента усиления видеосигналов, необходимое при ограниченном диапазоне рабочих яркостей монитора для расширения диапазона регистрируемой разности температур до уровня, который требуется для обеспечения возможности наблюдения изображения объектов, приводит к снижению заметности или даже исчезновению на изображении шума, и такой ТВП, по сути, оказывается уже не шумо-ограниченным, а контрастно-ограниченным прибором, возможности которого по вскрытию объектов существенно определяются контрастной чувствительностью зрительного анализатора оператора, а также диапазоном яркости видеоконтрольного устройства (монитора), который к тому же, например при наблюдении изображения в темноте или полутьме, полностью не используется [1]. В связи с этим нашей задачей является разработка, с учетом отмеченных особенностей несканирующих ТВП, методики прогнозирования максимально возможной при заданном диаметре объектива (а следовательно, при заданных массогабаритных характеристиках прибора) дальности действия ТВП D_{\max} , которая реализуется при использовании:

- идеального ФПУ, работающего в режиме ограничения фоном (BLIP), имеющего единичную квантовую эффективность, предельно высокую емкость считывающего устройства и пренебрежимо малые размеры элементов с единичным коэффициентом заполнения и однородной чувствительностью;

- идеального дифракционно-ограниченного (безабберационного) объектива с единичным коэффициентом пропускания.

Знание величины D_{\max} позволит оценить степень приближения к ней фактически достигаемой дальности действия D прибора с реальными основными компонентами – объективом (с таким же диаметром) и ФПУ – и, тем самым, получить сравнительную интегральную оценку качества совокупности этих компонентов в виде, например, отношения D/D_{\max} . Значение D при этом может быть рассчитано, например, по методике, изложенной в [1,7].

Поскольку в общем случае дальность действия ТВП существенно зависит от разности температур, эквивалентной шуму, и эффективного значения элементарного поля зрения, определяющих соответственно температурную чувствительность и угловое разрешение приборов, оценим вначале предельно достижимые значения этих параметров для современных несканирующих ТВП.

Используя результаты [1,2,8], можно показать, что разность температур, эквивалентная шуму, для ТВП с идеальным квантовым ФПУ, имеющим длинноволновую границу λ_m , мкм, относительной спектральной чувствительности $S(\lambda)$, совпадающую с правой границей спектральных рабочих диапазонов $\Delta\lambda = 3-5$ или $8-12$ мкм – «окон прозрачности» атмосферы, – и соответствующим ограничением чувствительности со стороны коротких волн, работающим в режиме ограничения фоном, достигает теоретического предела ΔT_{\min} , равного (для идеального объектива)

$$\Delta T_{\min} = \frac{10^4 \sqrt{hcMB}}{aY \sqrt{\lambda_m t}} = \frac{M \sqrt{RB}}{aY \sqrt{t}} \approx \frac{\lambda_0 T^2 \sqrt{RB}}{1,44 \cdot 10^4 a \sqrt{t}}; \quad M = \int_{\Delta\lambda} M(\lambda) S(\lambda) d\lambda; \quad B = \frac{4}{\omega^2} + 1; \quad (1)$$

$$Y = \frac{1,44 \cdot 10^4}{T^2} \int_{\Delta\lambda} M(\lambda) S(\lambda) d\lambda / \lambda; \quad R = 10^8 hc / \int_{\Delta\lambda} \lambda M(\lambda) d\lambda; \quad S(\lambda) = \lambda / \lambda_m,$$

где $M(\lambda)$ – определяемая формулой Планка спектральная плотность энергетической светимости фона – черного тела с температурой T , Вт/(см²·мкм); $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $c = 3 \cdot 10^{14}$ мкм/с – скорость света (тогда $hc = 2 \cdot 10^{-19}$ Дж·мкм); a – размер чувствительных элементов ФПУ, мкм; ω – относительное отверстие объектива; λ_0 – средняя длина волны спектрального рабочего диапазона ТВП $\Delta\lambda$, мкм; t – время накопления зарядов, с.

Время накопления зарядов в (1) определяется частотой кадров или же условием отсутствия переполнения зарядовой емкости устройства считывания:

$$t = \min(t^*, 1/F);$$

$$t^* = \frac{10^8 \alpha_0 hc B N_m}{M \lambda_m a^2} = \frac{\alpha_0 R B N_m}{a^2}, \quad (2)$$

где F – частота кадров, Гц; N_m – зарядовая емкость устройства считывания, электрон; α_0 – предельно допустимый уровень заряда этой емкости, обычно составляющий $\alpha_0 = 0,5-0,7$.

Зависимость комплекса R , мкм²·с, входящего в (1), (2), от температуры фона T хорошо аппроксимируется формулой:

$$R = \begin{cases} 10^{-(3,6+0,015T)} & (3-5 \text{ мкм}); \\ 10^{-(7,5+0,0076T)} & (8-12 \text{ мкм}). \end{cases} \quad (3)$$

Для современных ФПУ с кремниевыми считывающими устройствами зарядовая емкость N_m достигает $4 \cdot 10^7$ электрон, что близко к теоретическому пределу [9].

Эффективное значение элементарного поля зрения δ , мрад, определяемое функцией передачи модуляции прибора, – это элементарное поле зрения «нормального» ТВП, имеющего ширину функции передачи модуляции, равную таковой для данного ТВП [1]. При этом под «нормальным» понимается ТВП, функция передачи модуляции которого, аппроксимируемая гауссовской зависимостью вида

$$K(v) = \exp(-2\pi^2 \sigma^2 v^2),$$

где v – угловая частота, мрад⁻¹; σ – параметр аппроксимации, мрад, в равной степени определяется функцией передачи модуляции четырех его основных компонентов – объектива, элемента ФПУ, усилителя и монитора. Как показано в [1,7], выражение для δ имеет вид:

$$\delta = \vartheta \delta_0; \quad \vartheta = \sqrt{0,5 + 0,25\theta^2 + 0,52/\alpha^2 + 0,26/\alpha^2 Z^2}; \quad \alpha = a/\Delta a; \quad (4)$$

$$\delta_0 = a/f; \quad \theta = \sqrt{(0,84\theta_d)^2 + \theta_a^2}; \quad \theta_d = d_d/a; \quad d_d = 2,44\lambda_0/\omega; \quad \theta_a = d_a/a,$$

где δ_0 – элементарное поле зрения, мрад; Δa – шаг элементов ФПУ, мкм; α – коэффициент заполнения ФПУ (по одной координате); θ_d , θ_a , θ – отношение диаметра дифракционного, абберационного и суммарного кружка рассеяния объектива к размеру элемента ФПУ; d_d , d_a – диаметр дифракционного и абберационного кружка рассеяния объектива соответственно с концентрацией энергии 85%, мкм; Z – электронное увеличение изображения; f – фокусное расстояние объектива, мм.

Найдем минимальное потенциально достижимое эффективное значение элементарного поля зрения δ_{\min} , мрад, определяемое лишь дифракционным кружком рассеяния объектива. Так как при выполнении соотношения

$$a \leq \lambda_0/3,4\omega \quad (5)$$

и $\theta_a \rightarrow 0$ доминирующим в формуле (4) для δ становится второе слагаемое (под радикалом), значение θ с погрешностью, не превышающей 5%, можно считать равным

$$\theta = 0,84 \cdot 2,44\lambda_0/D_0 \delta_0,$$

где D_0 – диаметр объектива, мм, а коэффициент $\vartheta = 0,5\theta$, и соответствующее эффективное значение элементарного поля зрения составляет $\delta_{\min} = \lambda_0/D_0$.

Отметим, что поскольку при реализации условия (5) функция передачи модуляции объектива находится в зоне частот, не превышающих частоту Найквиста, равную половине

частоты выборки, это обеспечивает и отсутствие в спектре изображения псевдочастот и соответствующих артефактов, в частности дискретной структуры изображения, затрудняющей его дешифрирование [10].

Прогнозируемые на ближайшие годы значение размера элементов ФПУ для диапазона спектра 3-5 мкм составляют [10,11] $a = 5$ мкм, что по (5) дает максимальное относительное отверстие объектива $\omega = 4/(3,4 \cdot 5) = 0,235$ (1 : 4,25) и соответствующий параметр $B = 73$. Далее, принимая практически наибольшее значение температуры фона $T = 320$ К (47 °С), для $\alpha_0 = 0,5$ и $N_m = 4 \cdot 10^7$ по (2), (3) находим $t^* = 0,23$ с. Следовательно, при любой температуре фона и частоте кадров $F \geq 1/0,23 = 4,3$ Гц время накопления в (1), (2) будет определяться частотой кадров: $t = 1/F$. Тогда, по (1), для нормированной температуры фона $T = 295$ К, для которой обычно определяется разность температур, эквивалентная шуму, и практически наименьшей частоты кадров $F = 25$ Гц получаем значение $\Delta T_{\min} = 0,02$ К.

Для диапазона спектра 8-12 мкм на том же основании можно принять $a = 10$ мкм и, соот-

ветственно, $\omega = 10/(3,4 \cdot 10) = 0,295$ (1 : 3,4) и $B = 47$. Тогда для практически наименьшей температуры фона $T = 230$ К = -43 °С и тех же значений α_0 и N_m по (2), (3) находим $t^* = 0,0053$ с. Поэтому при любой температуре фона и частоте кадров $F \leq 1/0,0053 = 189$ Гц время накопления будет определяться зарядовой емкостью считывающего устройства: $t = t^*$, и, значит, согласно (1), (2), для ΔT_{\min} имеет место выражение:

$$\Delta T_{\min} = \frac{M}{Y \sqrt{\alpha_0 N_m}} \approx \frac{\lambda_0 T^2}{1,44 \cdot 10^4 \sqrt{\alpha_0 N_m}},$$

которое при $T = 295$ К, $\lambda_0 = 10$ мкм, $\alpha_0 = 0,5$ и $N_m = 4 \cdot 10^7$ дает значение $\Delta T_{\min} = 0,014$ К.

Учтем далее, что в зависимости от конкретного сочетания теплового контраста объекта, вариаций радиационной температуры окружающих фоновых неоднородностей, пороговой чувствительности и условий дешифрирования изображения, высокочувствительный ТВП может работать как в контрастно-ограниченном, так и в шумо-ограниченном режиме. При этом, как показано в [12], если разность температур, эквивалентная шуму ΔT , меньше порогового значения ΔT^* , равного

$$\Delta T^* = 0,18 \beta_0 r \Delta T_M / K_M; \quad \beta_0 = \left(\frac{0,13 + 0,18 L'^{-0,42}}{Z \delta'_0} \right)^{1,5} + 0,02; \quad K_M = \frac{L'_2 - L'_1}{L'_2 + L'_1};$$

$$r = \sqrt{[1 + \exp(-1/FT_{\text{гл}})]/[1 - \exp(-1/FT_{\text{гл}})]}; \quad T_{\text{гл}} = 0,019 + 0,051 / L'^{0,17}, \quad (6)$$

где r – коэффициент, учитывающий временное накопление визуальных сигналов от объекта в смежных кадрах ТВП; L' – яркость изображения фона, кд/м²; $T_{\text{гл}}$ – постоянная времени глаза оператора, с; L'_1 и L'_2 – минимальное и максимальное значения яркости монитора соответственно, кд/м²; ΔT_M – диапазон регистрируемой разности температур, К, определяемый рабочим диапазоном яркости монитора $\Delta L'_M = L'_2 - L'_1$; K_M – коэффициент сохранения контраста для протяженного объекта, при $L'_2 \gg L'_1$ близкий к 1; δ'_0 – угловой размер элемента изображения, мрад, то ТВП работает в контрастно-ограниченном режиме, в противном случае – в шумо-ограниченном.

Здесь принято, что яркость изображения

фона L' соответствует середине рабочего диапазона яркости монитора, т.е. $L' = (L'_2 + L'_1)/2$, что необходимо для воспроизведения как положительных, так и равных им по модулю отрицательных тепловых контрастов объектов, попадающих в диапазон ΔT_M . При этом комфортная яркость L' определяется условиями освещения при дешифрировании изображений, и ее можно считать равной [13]: $L' = 0,3-1$ кд/м² (дешифрирование в темноте), $L' = 3-30$ кд/м² (в полутьме), $L' = 100$ кд/м² (на свету).

Угловой размер элемента изображения δ'_0 (на мониторе), соответствующего шагу элементов ТВП, должен быть – без учета электронного увеличения, при котором поле зрения прибора уже полностью не используется, – с одной сто-

роны, достаточно большим, чтобы оператор различал мелкие детали изображения, а с другой, – достаточно малым, чтобы изображение выглядело для оператора вполне резким, а возможная дискретная структура этого изображения не была слишком заметной. Для первых образцов ТВП, изображение которых имело отчетливую растровую структуру, теоретически оптимальное значение δ_0' близко к 0,5 мрад [14], однако современные ТВП формируют изображение, дискретность которого гораздо менее выражена, и, следовательно, оно комфортно дешифрируется с меньшего расстояния, поэтому для них субъективно оптимальное значение δ_0' больше и варьируется для разных операторов в пределах от 0,8 до 1 мрад; согласно исследованиям автора [15], это значение составляет $\delta_0' = 0,95$ мрад.

Для обеспечения поиска и вскрытия объектов с положительным или отрицательным тепловым контрастом, локализованных соответственно на горбах или впадинах температурных фоновых неоднородностей, диапазон регистрируемой разности температур ΔT_M должен удовлетворять условию:

$$\Delta T_M \geq (\Delta T_{\text{фон}} + 2\Delta T_R) \tau_{a \text{ max}}, \quad (7)$$

где $\Delta T_{\text{фон}}$ – максимальная величина вариаций радиационной температуры фоновых неоднородностей, К (нередко приближенно считают: в летний солнечный день $\Delta T_{\text{фон}} = 7$ К, в облачный день $\Delta T_{\text{фон}} = 4$ К, ночью $\Delta T_{\text{фон}} = 2$ К); ΔT_R – тепловой контраст объекта, К; $\tau_{a \text{ max}}$ – максимальный коэффициент пропускания атмосферы в диапазоне $\Delta\lambda$, отвечающий минимально возможной дистанции до объектов.

При этом под тепловым контрастом объекта ΔT_R понимается так называемый контраст Дойла, определяемый как [1, 13]

$$\Delta T_R = \left(\Delta T_{R0}^2 + \sigma_{\Delta T}^2 \right)^{1/2}, \quad (8)$$

где ΔT_{R0} – средний по площади объекта тепловой контраст (разность радиационных температур объекта и фона), К; $\sigma_{\Delta T}$ – среднеквадратическое отклонение вариаций теплового контраста по площади объекта, К, находящееся, например, для объектов транспортной техники в пределах от 0,1 К (пассивный объект

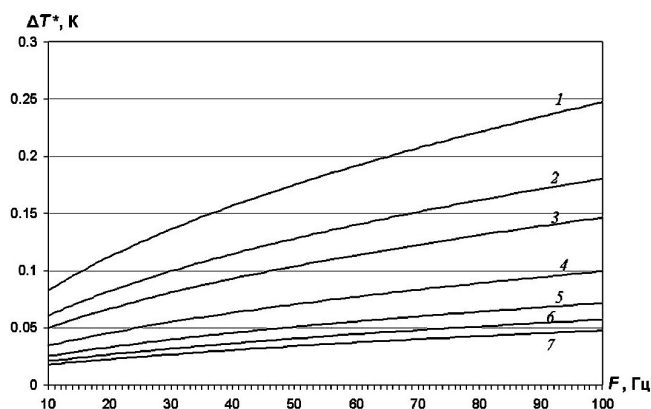


Рисунок 1.

Зависимость пороговой разности температур, эквивалентной шуму ΔT^ , от частоты кадров ТВП F для ряда значений яркости изображения фона L' : 1 – $L' = 0,3$ кд/м²; 2 – $L' = 0,6$ кд/м²; 3 – $L' = 1$ кд/м²; 4 – $L' = 3$ кд/м²; 5 – $L' = 10$ кд/м²; 6 – $L' = 30$ кд/м²; 7 – $L' = 100$ кд/м²*

в стабильную ненастную погоду) до 1 К (активный объект).

На рис. 1 для ряда значений яркости изображения фона L' при типовых величинах $K_M = 0,95$, $Z = 1$ и $\delta_0' = 0,95$ мрад представлены зависимости пороговой разности температур, эквивалентной шуму ΔT^* , от частоты кадров F при нормирующем условии $\Delta T_M = 1$ К.

Понятно, что в зависимости от выбранного коэффициента усиления видеосигналов, определяющего диапазон регистрируемой разности температур ΔT_M , любой конкретный ТВП с фиксированным значением разности температур, эквивалентной шуму ΔT , может функционировать как в контрастно-ограниченном (при $\Delta T_M > \Delta T_M^*$), так и в шумо-ограниченном режиме (при $\Delta T_M < \Delta T_M^*$), где, согласно (6), пороговое значение ΔT_M^* равно:

$$\Delta T_M^* = 5,6 \Delta T K_M / \beta_0 r, \quad (9)$$

причем в последнем случае диапазон ΔT_M , первоначально определяемый по (7), расширяется до значения $\Delta T_M = \Delta T_M^*$ (для поддержания еще приемлемой зашумленности изображения), так что при этом новом значении ΔT_M ТВП фактически будет работать в обоих отмеченных режимах одновременно.

Соотношение (6) для ΔT^* имеет важное практическое значение, поскольку оно устанавли-

вает для ТВП оптимальную разность температур, эквивалентную шуму, составляющую $\Delta T = \Delta T^*$; при этом, с одной стороны, реализуется максимальная температурная чувствительность ТВП, ограниченная лишь шумом, которая, однако, еще не является избыточной, поскольку соответствующее изображение еще не слишком зашумлено, а с другой – отсутствует необходимость обеспечения неоправданно малой разности температур, эквивалентной шуму, и, как следствие, увеличения стоимостных и массогабаритных характеристик прибора. Например, для поиска и вскрытия объектов с тепловым контрастом $\Delta T_R = 2$ К на неоднородном фоне в дневное время суток (вариации радиационной температуры фона $\Delta T_{\text{фон}} = 7$ К и, соответственно, по (7), диапазон регистрируемой разности температур $\Delta T_M = 11$ К) посредством танкового ТВП (яркость изображения фона $L' = 20$ кд/м²) с частотой кадров $F = 25$ Гц, согласно (6), достаточно, чтобы этот ТВП имел разность температур, эквивалентную шуму, $\Delta T = 0,35$ К. Использовать ТВП с меньшим значением ΔT здесь смысла не имеет, ибо тогда он будет работать в контрастно-ограниченном режиме, в котором его эффективность от ΔT не зависит.

Из этого примера видно, что при определенных обстоятельствах в контрастно-ограниченном режиме могут функционировать практически любые ТВП, имеющие разность температур, эквивалентную шуму, не превышающую указанного значения.

Однако параметры, входящие в (6), зависящие от условий работы ТВП, в частности диапазон регистрируемой разности температур и яркость изображения фона, определяющие пороговую величину ΔT^* , могут изменяться в довольно широких пределах. Поэтому целесообразно оценить наименьшее значение разности температур, эквивалентной шуму, при которой прибор будет работать одновременно в шумо-ограниченном и контрастно-ограниченном режиме; это значение, в идеале, и должно быть реализовано в ТВП. Для его нахождения примем максимальное, рекомендуемое при дешифрировании на свету, значение яркости изображения фона $L' = 100$ кд/м² и наимень-

шую используемую на практике частоту кадров $F = 25$ Гц. Считаем далее, что ТВП применяется во время сильного дождя, когда вариации радиационной температуры фоновых неоднородностей минимальны и не превышают [1] $\Delta T_{\text{фон}} = 0,5-0,7$ К, средний тепловой контраст пассивных, не имеющих внутренних источников тепла объектов близок к нулю, а среднеквадратическое отклонение вариаций теплового контраста по площади объекта также минимально и составляет $\sigma_{\Delta T} = 0,1$ К. Это, по (7), (8), дает диапазон регистрируемой разности температур $\Delta T_M = 0,7-0,9$ К и, по (6), соответствующее минимальное пороговое значение $\Delta T^* = 0,015-0,02$ К. Следовательно, разработка ТВП, который имел бы разность температур, эквивалентную шуму ΔT , меньшую указанного значения ΔT^* , нецелесообразна (даже если технические возможности и позволяют это осуществить), ибо столь высокая пороговая чувствительность практически никогда не будет реализована: эффективность такого ТВП, по сути, будет ограничена не отношением сигнал/шум в приборе, а контрастной чувствительностью зрительного анализатора оператора. Нам не известен ни один образец ТВП, предназначенный для поиска и наблюдения объектов местности, имеющий меньшее значение разности температур, эквивалентной шуму (см., например, обзор [16]), и прогноз некоторых авторов о появлении ТВП с пороговой чувствительностью до 0,001 К, по-видимому, следует рассматривать как нонсенс. Как видно, полученное здесь минимально достаточное значение $\Delta T_{\text{мин}} = \Delta T^* = 0,015-0,02$ К практически совпадает с найденными выше потенциально достижимыми величинами разности температур, эквивалентной шуму, определяемыми принципиально неустраняемым фотонным шумом фона.

При снижении яркости изображения фона, повышении частоты кадров и расширении диапазона регистрируемой разности температур пороговое значение ΔT^* , как следует из рис. 1, увеличивается и, следовательно, доля образцов ТВП, функционирующих в контрастно-ограниченном режиме, возрастает. Вывод о работе именно в данном режиме современных несканирующих ТВП, осо-

бенно использующих охлаждаемые квантовые ФПУ, применяемых для вскрытия объектов на неоднородном фоне, содержится и, например, в статье [17].

Таким образом, основные усилия разработчиков ТВП должны быть направлены на повышение не пороговой чувствительности, которая для современных ТВП уже достигла достаточно высокого значения, а углового разрешения приборов.

Контрастная чувствительность зрительного анализатора, существенно влияющая на эффективность современных высокочувствительных ТВП, характеризуется функцией порогового контраста $M(v')$ – зависимостью минимального еще обнаруживаемого зрительным анализатором оператора контраста $M = (L'_{\max} - L'_{\min}) / (L'_{\max} + L'_{\min})$, где L'_{\max} , L'_{\min} – максимальное и минимальное значение яркости соответственно, изображения разрешаемой синусоидальной миры от ее угловой частоты. Эта зависимость описывается следующим эмпирическим выражением [13]:

$$M(v') = \frac{(1 + 0,7/L')^{0,2} [1 + 12/(w'(1 + v'/3)^2)]}{540v' \exp(-cv') \sqrt{1 + 0,06 \exp(cv')}}; \quad c = 0,3(1 + 100/L')^{0,15}, \quad (10)$$

где v' – угловая частота в пространстве изображений, град⁻¹; w' – угловой размер изображения миры, град.

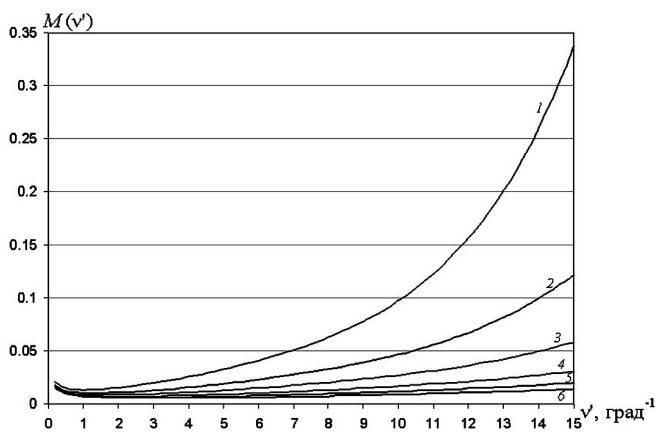


Рисунок 2.

Функция порогового контраста $M(v')$ зрительного анализатора для различной яркости изображения фона L' : 1 – $L' = 0,3$ кд/м²; 2 – $L' = 1$ кд/м²; 3 – $L' = 3$ кд/м²; 4 – $L' = 10$ кд/м²; 5 – $L' = 30$ кд/м²; 6 – $L' = 100$ кд/м²

Для стандартной четырехполосной периодической миры с соотношением сторон ее полос 7:1 имеем $w' = (4+3)/2v' = 3,5/v'$. График функции $M(v')$ для этой миры приведен на рис. 2.

Связь частоты v' в (10) с соответствующей угловой частотой v , мрад⁻¹, в пространстве предметов устанавливается соотношением: $v' = 17,45v/\Gamma$, где Γ – видимое увеличение ТВП – отношение угловых размеров изображения объекта и самого объекта.

Далее, результирующая функция модуляции ТВП $K_{\Sigma}(v)$ с параметром σ_{Σ} , мрад, с учетом влияния турбулентности атмосферы, описываемой функцией передачи модуляции, близкой к гауссовской, имеет вид [1,7]:

$$K_{\Sigma}(v) = \exp(-2\pi^2 \sigma_{\Sigma}^2 v^2); \quad \sigma_{\Sigma} = 0,55\delta_{\Sigma}; \quad \delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta^2 + \delta_T^2}, \quad (11)$$

где δ_T – эквивалентное элементарное поле зрения турбулентности атмосферы, мрад; δ_{Σ} – результирующее значение элементарного поля зрения ТВП, мрад.

Эквивалентное элементарное поле зрения турбулентности δ_T в (11), характеризующее степень деградации изображения, для наклонных трасс «земля-воздух» (объект находится на поверхности земли) вычисляется по формуле [1,7]:

$$\delta_T = 2,6 \cdot 10^6 C_{n\Sigma}^{0,6} D^{0,6} / \lambda_0^{0,2}; \quad C_{n\Sigma} = 2,67 C_n [0,375 + 0,75(H^{4/3} - 1)] / H^{8/3}, \quad (12)$$

где C_n – структурная характеристика атмосферы, м^{2/3}, на высоте 1 м; H – высота расположения ТВП, м ($H \geq 1$ м); D – дистанция до объекта (длина трассы), км.

Как вытекает из (12), при возвышении ТВП над землей, например, на 9 м значение $C_{n\Sigma}$ снижается в 10 раз, на 16 м – в 20 раз.

При $H \gg 1$ м вместо (12) имеем:

$$C_{n\Sigma} = 2C_n / H^{4/3}, \quad (13)$$

и влиянием турбулентности, значение $C_{n\Sigma}$ которой уменьшается в $2/H^{4/3}$ раз, можно пренебречь: $\delta_T = 0$.

Однако для трасс «воздух-земля» (ТВП на поверхности земли) влияние турбулентности гораздо более существенно и значение $C_{n\Sigma}$ при

этом можно считать приближенно равным (для высоты объекта $H_{об} > 16$ м) [1,7]:

$$C_{n\Sigma} = 40C_n / H_{об}^{4/3}. \quad (14)$$

Для приземных горизонтальных трасс ($H_{об} = H = 1$ м) $C_{n\Sigma} = C_n$.

Различие значений $C_{n\Sigma}$, определяемых по (13) и (14), отражает феномен, аналогичный «эффекту кальки»: калька, приложенная к объекту, имитирующая влияние турбулентности, сосредоточенной в самых нижних слоях атмосферы, почти не размывает его изображения, а та же калька, расположенная вблизи глаз оператора, практически полностью исключает возможность наблюдения объекта.

Следует отметить, что величине C_n присуща высокая временная изменчивость, особенно в дневное время суток. Как свидетельствуют соответствующие измерения [18], летним днем значение C_n в течение получаса может измениться в 2 раза, а за световой день – в 6-7 раз. Поэтому имеющиеся попытки его прогнозирования (например, [19]), методики которого к тому же весьма сложны, на наш взгляд, малоперспективны.

Средние, максимальные и минимальные (для значений функции распределения 0,5, 0,95 и 0,05 соответственно) значения C_n приведены для различных регионов, сезонов и времени суток в таблице, составленной по результатам работы [20].

Согласно широко известной операциональной модели ТВП NVTherm, являющейся основой большинства методик расчета дальности действия ТВП, эта дальность D , км, составляет:

$$D = 2Av, \quad (15)$$

где A – требуемое разрешение на местности (минимальный полупериод разрешаемой эквивалентной миры), м.

В свою очередь, разрешение на местности определяется формулой [1,7]:

$$A = h_o \gamma / 2,4C_n \sqrt{-\ln(1-P)}, \quad (16)$$

где h_o – критический размер объекта (корень квадратный из его видимой площади), м; C – критерий Джонсона, в среднем равный: 1 – при обнаружении, 3 – при классификации, 6 – при идентификации объектов (более дифференцированные значения C , зависящие от алфавита объектов и уровня сложности решаемой задачи наблюдения, приведены в [1,7]); $\gamma = 0,65-1,5$ – показатель квалификации оператора (от низкой до высокой соответственно); P – заданная вероятность вскрытия объекта.

Угловая частота ν в (15) является корнем уравнения [1]:

$$\Delta T_R \tau_a = \Delta T_{раз}(\nu),$$

где τ_a – коэффициент пропускания атмосферы в диапазоне $\Delta\lambda$ на дистанции D , рассчитываемый, например, по методике [1]; $\Delta T_{раз}(\nu)$ – температурно-частотная характеристика ТВП.

Для контрастно-ограниченных ТВП зависимость $\Delta T_{раз}(\nu)$ имеет вид [1,7]:

$$\Delta T_{раз}(\nu) = \pi \Delta T_M M(\nu) / 4K_\Sigma(\nu) K_M. \quad (17)$$

Здесь подразумевается, что с изменением угловой частоты миры ν коэффициент усиления видеосигналов остается постоянным, соответствующим заданному диапазону регистрируемой разности температур ΔT_M , отвечающему реальным условиям наблюдения объектов;

Таблица.

Ориентировочные значения структурной характеристики атмосферы C_n , м^{-2/3}

Условия	Средние		Максимальные		Минимальные	
	День	Ночь, утро, вечер	День	Ночь, утро, вечер	День	Ночь, утро, вечер
Центр. Европа (лето)	$5 \cdot 10^{-13}$	$2 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-13}$	$3 \cdot 10^{-14}$	$5 \cdot 10^{-15}$
Центр. Европа (зима)	$4 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14}$	$3 \cdot 10^{-13}$	$6 \cdot 10^{-14}$	$4 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{-15}$
Аридная зона (лето)	$1,5 \cdot 10^{-12}$	$5 \cdot 10^{-14}$	$2 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-13}$	$7 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-15}$
Аридная зона (зима)	$4 \cdot 10^{-13}$	$4 \cdot 10^{-14}$	$8 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-13}$	$4 \cdot 10^{-14}$	$5 \cdot 10^{-16}$
Субарктика	$5 \cdot 10^{-14}$	$6 \cdot 10^{-14}$	$2 \cdot 10^{-13}$	$3 \cdot 10^{-13}$	$6 \cdot 10^{-15}$	$6 \cdot 10^{-15}$

при этом с ростом ν контраст изображения по- лос мира, естественно, снижается.

Оценим далее максимально достижимую дальность действия ТВП D_{\max} , км, определя- емую максимальной угловой частотой раз- решаемой тепловой миры ν_{\max} согласно (15):

$$D_{\max} = 2A\nu_{\max}.$$

Отметим прежде всего, что, по (6), (9), для найденной выше минимально достаточной разности температур, эквивалентной шуму, $\Delta T_{\min} = 0,015-0,02$ К, типовых значений $K_M = 0,95$, $Z = 1$ и $\delta_0' = 0,95$ мрад и яркости изобра- жения фона от $L' = 0,6$ кд/м² (дешифрирование в темноте) до $L' = 100$ кд/м² (дешифрирование на свету) пороговое значение диапазона ре- гистрируемой разности температур ΔT_M^* нахо- дится в соответствующих малых пределах от $\Delta T_M^* = 0,16$ К до $T_M^* = 0,8$ К. Тогда если для иско- мой дальности D_{\max} выполняется соотношение $\Delta T_{R\tau_a} \geq \Delta T_M^*/2$ и, следовательно, оператор име- ет возможность обеспечить, путем расшире- ния диапазона ΔT_M относительно значения T_M^* , оптимальный контраст изображения объекта, расположенного на однородном фоне, равный 0,5 (что отвечает условию $\Delta T_{R\tau_a} = \Delta T_M^*/2$; при этом разность яркостей изображения объекта и фона занимает половину рабочего диапазона ярко- сти монитора) без недопустимого повышения зашумленности изображения, то предельная угловая частота ν_{\max} , мрад⁻¹, еще разрешаемой миры, как вытекает из (17) при $\Delta T_{\text{раз}}(\nu) = \Delta T_M^*/2$, может быть найдена из уравнения:

$$(2/\pi)K_M K_\Sigma (\nu_{\max}) = M(17,45\nu_{\max} / \Gamma) .$$

Решая это уравнение, получаем зависимо- сти максимальной относительной частоты $x_{\max} = \nu_{\max} \delta_\Sigma$, определяющей значение D_{\max} , от пара- метра $Q = \Gamma\delta_\Sigma$, представленные для ряда зна- чений яркости изображения фона L' на рис. 3.

Поскольку значение δ_τ и, следовательно, па- раметры Q и x_{\max} сами зависят от дистанции до объекта, искомая дальность действия D_{\max} в данном случае является решением уравнения:

$$D_{\max} = 2x_{\max} A / \delta_\Sigma;$$

$$\delta_\Sigma = \sqrt{\delta_{\min}^2 + \delta_\tau^2}; \quad x_{\max} = f(Q) \quad (18)$$

Так как элементарное поле зрения δ_0 здесь считается пренебрежимо малым, можно при- нять, что видимое увеличение ТВП определя- ется как отношение углового размера элемен- та изображения δ_0' к эффективному значению элементарного поля зрения δ_Σ : $\Gamma = \delta_0' / \delta_{\min}$. Тогда величина Q , характеризующая значение x_{\max} , составляет $Q = (\delta_\Sigma / \delta_{\min}) \delta_0'$.

Отметим также, что поскольку в данном слу- чае оценивается лишь потенциально достижимая дальность действия, возможное экраниро- вание линии визирования объекта складками рельефа местности (этот вопрос детально рас- смотрен в [21]) не учитывается.

Пример. Рассчитаем предельную дальность идентификации с вероятностью $P = 0,8$ опера- тором высокой квалификации танка (бортовая проекция, критический размер $h_0 = 3,5$ м) ве- чером (яркость изображения фона $L' = 10$ кд/м²) в равнинных условиях Центральной Европы при использовании ТВП для диапазона 3-5 мкм ($\lambda_0 = 4$ мкм) с диаметром объектива $D_0 = 200$ мм при возвышении ТВП на $H = 12$ м:

- по таблице устанавливаем среднее значе- ние структурной характеристики атмосферы $C_n = 2 \cdot 10^{-14}$ м^{-2/3}; тогда, по (12), имеем $C_{n\Sigma} = 1,43 \cdot 10^{-15}$ м^{-2/3} и $\delta_\tau = 0,0024 D_{\max}^{0,6}$;
- по формуле (16), приняв $\gamma = 1,5$ и $C = 6$, рассчитываем требуемое разрешение на мест- ности $A = 0,29$ м;

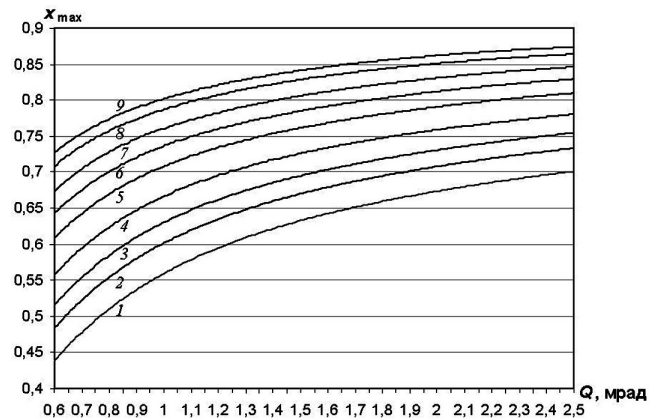


Рисунок 3.

Зависимость предельной относительной частоты x_{\max} от параметра Q для различной яркости изображения фона L' : 1 – $L' = 0,3$ кд/м²; 2 – $L' = 0,6$ кд/м²; 3 – $L' = 1$ кд/м²; 4 – $L' = 2$ кд/м²; 5 – $L' = 5$ кд/м²; 6 – $L' = 10$ кд/м²; 7 – $L' = 20$ кд/м²; 8 – $L' = 50$ кд/м²; 9 – $L' = 100$ кд/м²

- для значений $\delta_{\min} = 4/200 = 0,02$ мрад и $\delta_0' = 0,95$ мрад, решая с учетом рис. 3 уравнение (18), находим $D_{\max} = 18$ км (при этой длине трассы значения $\delta_T = 0,0138$ мрад, $\delta_\Sigma = 0,0243$ мрад, $Q = 1,15$ и $x_{\max} = 0,76$).

Еще раз обратим внимание на то, что полученная предельная дальность действия ТВП может быть обеспечена лишь при выполнении соотношения $\Delta T_R \tau_a \geq \Delta T_M^*/2$, в данном случае, согласно (9), – при $\Delta T_R \tau_a \geq 0,28$ К (для $\Delta T_{\min} = 0,02$ К и $F = 25$ Гц). Это соотношение реализуется, например, для теплового контраста объекта $\Delta T_R \geq 3,5$ К и типовых погодных условий осенне-весеннего сезона при метеорологической дальности видимости 15 км, которым, по [22], отвечает коэффициент пропускания атмосферы $\tau_a = 0,08$. Однако от конкретных значений ΔT_R и τ_a , произведение которых удовлетворяет указанному условию, дальность D_{\max} не зависит, ибо оператор, регулируя коэффициент усиления видеосигналов, поддерживает, при еще приемлемой зашумленности, постоянный контраст, а значит, дешифрируемость изображения объекта независимо от значений ΔT_R и τ_a .

В случае пренебрежимо малого влияния турбулентности атмосферы (для ТВП воздушного базирования) расчет значения D_{\max} существенно упрощается: как следует из (18), при $\delta_T \rightarrow 0$ эта дальность непосредственно определяется формулой:

$$D_{\max} = 2x_{\max} A / \delta_{\min} = 2x_{\max} A D_0 / \lambda_0, \quad (19)$$

где x_{\max} находится по рис. 3 при $Q = \delta_0'$.

Так, для того же примера, но при значении $\delta_T = 0$, по (19) получаем $Q = 0,95$, $x_{\max} = 0,73$ и $D_{\max} = 21$ км.

Очевидно, значения D_{\max} , полученные по (19), могут служить первоначальными оценками дальности действия ТВП при итеративном расчете этой величины согласно формуле (18). В частности, в данном примере после первой же итерации находим $D_{\max} = 17,7$ км, что практически совпадает с ранее полученным более точным значением $D_{\max} = 18$ км.

Можно полагать, что полученные результаты будут полезны для априорной оценки интегрального критерия качества комплекса «объектив + ФПУ» и, соответственно, для сравнения и рационального выбора этих компонентов ТВП при его разработке.

Список литературы:

1. Балоев В.А., Ильин Г.И., Овсянников В.А., Филиппов В.Л. Эффективность, помехозащищенность и помехоустойчивость видовых оптико-электронных систем. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2015. – 424 с.
2. Таубкин И.И., Тришенков М.А. Предельная чувствительность и информативность тепловизоров и других оптико-электронных преобразователей изображения // Оптический журнал. – 1996. – № 6. – С. 3-13.
3. Ицкевич Е.В. Итерационный метод определения дальности действия оптико-электронных приборов наблюдения // Изв. ВУЗов. Сер. «Приборостроение». – 1988. – № 12. – С. 53-55.
4. Скобло В.С. К оценке дальности действия тепловизионных систем // Изв. ВУЗов. Сер. «Приборостроение». – 2001. – № 1. – С. 47-51.
5. Трестман М.М., Харькова Н.И. Сигнатура объекта наблюдения тепловизионным прибором и алгоритм расчета дальности распознавания // Прикладная физика. – 2005. – № 3. – С. 89-91.
6. Тымкул В.М., Тымкул Л.В., Фесько Ю.А., Поликанин А.Н. Дальность действия тепловизионных систем. Методика расчета // Автометрия. – 2014. – № 4. – С. 96-101.
7. Балоев В.А., Овсянников В.А. Современные операционные модели тепловизионных приборов при обнаружении и распознавании объектов // Оборонная техника. – 2017. – № 3. – С. 38-54.
8. Патрашин А.И. Метод расчета параметров ИК матричного фотоприемного устройства // Прикладная физика. – 2010. – № 2. – С. 103-108.
9. Ли И.И. Анализ зависимости температурного разрешения тепловизионных систем от зарядовой емкости устройства считывания // Автометрия. – 2001. – № 2. – С. 131-137.
10. Holst G., Driggers R. Small detectors in infrared system design // Optical Engineering. – 2012. – № 9. – P. 096401-096406.
11. Reibel Y., Rubaldo L., Manissadjian A., Billon-Lanfrey D., Rothman J., Borniol E., Destefanis G., Costard E. High-performance MCT and QWIP IR detector at Sofradir // Proc. SPIE. – 2012. – V. 8541. – P. 85410A1–85410A-11.
12. Овсянников В.А., Филиппов В.Л. Методика оценки эффективности тепловизионных при-

боров при обнаружении движущихся объектов на неоднородном фоне // Оборонная техника. – 2017. – № 3. – С. 3-9.

13. *Holst G.* Electro-optical imaging system performance. 3 ed. – USA: SPIE press, 2003. – 442 p.

14. *Ллойд Д.* Системы тепловидения. – М.: Мир, 1978. – 414 с.

15. *Holst G.* Optimum viewing distance for target acquisition // Proc. SPIE. – 2015. – V. 9452. – P. 94520K-1–94520K-7.

16. *Ebbutt G., Griffith H., Williamson J.* Jane's C4ISR and mission systems. Joint and common equipment 2017-2018. – US: IHS Markit.

17. *Driggers R., Jacobs E., Vollmerhausen R., O’Cane B., Self M., Moyer S., Hixson J., Page G.* Current infrared target acquisition approach for military sensor design and wargaming // Proc. SPIE. – 2006. – V. 6207. – P. 620709-1–620709-17.

18. *Krapels K., Driggers R., Vollmerhausen R., Kopeika N., Halford C.* Atmospheric turbulence modula-

tion transfer function for IR target acquisition modeling // Optical Engineering. – 2001. – № 9. – P. 1906-1913.

19. *Raj A., Lancelot J.* Seasonal investigation on prediction accuracy of atmospheric turbulence strength with a new model at Punalkulam, Tamil Nadu // Оптический журнал. – 2016. – № 1. – С. 73-89.

20. *Richardson P., Driggers R.* Atmospheric turbulence effects on 3-ed generation FLIR performance // Proc. SPIE. – 2006. – V. 6207. – P. 620706-1–620706-11.

21. *Овсянников В.А., Овсянников Я.В., Филиппов В.Л.* Оценка и повышение эффективности применения наземных тепловизионных приборов в динамическом режиме работы // Оборонная техника. – 2015. – № 7. – С. 49-63.

22. *Филиппов В.Л., Иванов В.П., Яцык В.С.* Атмосфера и моделирование оптико-электронных систем в динамике внешних условий. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2015.– 632 с.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ФОТОЛОВУШКИ

ВОЛКОВ В.Г., ГИНДИН П.Д., КАРПОВ В.В., МОИСЕЕВ Е.А.*, СЕНИК Б.Н.*

АО «Московский завод «Сапфир», г. Москва

*ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

E-mail: volkvik2009@yandex.ru, bogdan_senik@mail.ru

Аннотация: В статье рассматриваются ТВ фотоловушки – устройства, предназначенные для скрытного наблюдения, фотографирования и видеозаписи объектов наблюдения. Приводятся их основные параметры и характеристики, описываются их возможности.

Ключевые слова: телевизионная (ТВ) фотоловушка, ТВ камера, дальность срабатывания, угол поля зрения, разрешение, напряжение питания, габариты, масса, диапазон рабочих температур.

TELEVISION CAMERA TRAPS

VOLKOV V.G., GINDIN P.D., KARPOV V.V., MOISEEV E.A.*, SENIK B.N.*

JSC “Moskovskij Zavod “Sapphir”

*PJSC “Krasnogorskiy Zavod named S.A. Zverev”

E-mail: volkvik2009@yandex.ru, bogdan_senik@mail.ru

Abstract: The article deals with TV camera traps – devices designed for covert surveillance, photography and video recording of objects of observation. Lists their basic parameters and characteristics, describe a their capabilities.

Keywords: television (TV) camera traps, TV camera, sensing range, angle of view, resolution, supply voltage, dimensions, weight, operating temperature range.

ТВ фотоловушки – устройства, предназначенные для скрытного наблюдения, фотографирования и видеозаписи объектов наблюдения. Они необходимы для охраны территорий и различных объектов. Охранникам, владельцам строек они помогают ловить нарушителей, предотвращать проникновения, контролировать проезд, охотникам – находить лежки и тропы животных, тратить меньше времени на слежку, возвращаться с добычей, фермерам и охотничьим хозяйствам – отслеживать популяцию и поведение животных, любителям природы, экологам, зоологам, биологам – следить за животными в естественном ареале обитания, дачникам и загородным жителям – контролировать участок в отсутствие хозяев, заповедникам и заказникам – отлавливать браконьеров, участвовать в конкурсах, следить за популяцией [1 – 14].

Фотоловушка – это лесная камера, так называемый фоторегистратор, в котором присутствует датчик движения. Еще ее могут называть фотокапканом. Камера имеет герметичный, окрашенный в защитный цвет корпус. Для охотника этот прибор ценен тем, что экономит время и помогает выбрать объект, при попадании в поле съемки фотоловушки. Такие камеры устанавливаются в местах скопления животных, учитывая вид животного и условия конкретной местности. Фотоловушки обеспечивают замену егерей, которые порой не могут выявить половозрастную популяцию животных и их сезонное местонахождение в охотничьих угодьях, планирование отстрела с учетом увеличения численности животных в следующем году, борьбу с браконьерами. Хорошо замаскированная камера с GSM модулем сразу же отправляет MMS сообщение на запрограммированный номер телефона. Использование фотоловушки, как средства наблюдения за животными в естественной среде, является одним из современных и эффективных способов. В основном они используются для изучения популяций редких животных и животных, которые находятся под угрозой вымирания. Также они применяются для учета животных на определенной территории и для выявления индекса обилия в разные сезоны. Можно выяснить коли-

чество и периодичность посещения подкормочных площадок. Кроме всего прочего можно выяснить посещают ли наблюдаемую территорию браконьеры, но здесь нужно учесть то, что аппарат может быть поврежден или украден [1 – 14].

Выглядит фотоловушка как цифровой фотоаппарат, снимающий в определенный момент. Такой момент наступает при попадании объекта в зону работы датчика. Пассивный инфракрасный (ИК) датчик PIR (Passive Infra Red) включается, когда изменяется ИК излучение, или источник излучения начинает перемещаться. Этот датчик реагирует только на излучаемое и отражаемое тепло, на колебание травы, листвы и т.д. он не реагирует. Есть фотоловушки, которые снабжены несколькими PIR датчиками. Такие ловушки способны обнаружить животное за 20 - 25 метров, но недостаток их состоит в узком угле восприятия излучения, поэтому они устанавливаются группами, по три штуки. Располагается фотоловушка на высоте 1 - 1,5 метров от земли. Перед камерой должна быть открытая территория и по возможности отсутствие рядом движущихся объектов. Все, что фиксирует камера, сохраняется на карту памяти. Также некоторые модели фотоловушек снабжены функцией записи видео, продолжительность которой задается вручную, что позволяет описать поведение животного в научных целях. В цифровых фотоловушках изображения записываются на карту памяти, самый распространенный тип карт памяти — SD. Это позволяет быстро переписать файлы на домашний компьютер и тщательно их просмотреть. Более дорогие модели также могут дистанционно передавать снимки на компьютер или вебсайт без вмешательства пользователя [1 – 14].

Очень важным моментом при выборе аппарата является мощность и длина волны ИК подсветки. Незаметность для животного во время ночной съемки определяется длиной волны ИК подсветки. Еще одним фактором является автономность. Сокращением времени работы аппарата до замены батареек или заряда аккумулятора, может быть наличие низкой температуры, GSM модуля. Очень важны высокое разрешение или короткий интервал срабатывания камеры [1 – 14].

Типы фотоловушек [1 – 7]:

1. Цифровые — записывают изображения в цифровом формате вместо пленки;

2. GSM-MMS камера — пересылают фотографии на мобильный телефон вместо того чтобы сохранять их на карте памяти;

3. Пленочные — снимают на пленку, обычно 35 мм;

4. С лазерным прицелом — красный лазерный луч позволяет точнее определить оптимальное расположение фотоловушки;

5. С импульсной подсветкой — вспышка с лампами накаливания позволяет достичь дальность ночной съемки до 5 м;

6. С ИК подсветкой — ИК подсветка может комплектоваться в паре с импульсной или отдельно, она помогает обеспечить большую незаметность фотоловушки

7. Со звуковыми манками — специально записанные звуки могут при воспроизведении привлекать животных в зону мониторинга, частоту воспроизведения файлов можно настраивать.

В зависимости от настроек камеры фотографии могут записываться каждую секунду или каждый раз при обнаружении движения. Некоторые фотоловушки позволяют пользователю регулировать мощность вспышки или имеют невидимую светодиодную подсветку. Светодиодная подсветка позволяет охотнику четко различать, какое животное находится в зоне мониторинга ночью без использования заметной вспышки. Это позволяет сделать фотоловушку максимально незаметной. Некоторые модели имеют ручной переключатель для включения ИК фильтра в дневном или ночном режиме съемки.

Преимущества фотоловушек с импульсной подсветкой: большая дальность подсветки — до 18 м в некоторых моделях, высококачественные цветные изображения и днем, и ночью, короткая выдержка и отсутствие размытия вследствие движения. Недостатки фотоловушек с импульсной подсветкой: вспышка может испугать животных, вспышку могут заметить другие охотники, невозможность записи видео в ночное время.

Преимущества фотоловушек с ИК подсветкой: не пугает животных, так как не имеет види-

мого света, практически незаметна для других охотников, имеет более долгий срок работы аккумулятора по сравнению с другими типами подсветки. Недостатки фотоловушек с ИК подсветкой: черно-белые фотографии при ночной съемке, трудно найти баланс дальность/качество. Если настроить вспышку так, чтобы дальность охвата была максимальной, то качество фотографий ухудшается. Если же выбрать оптимальное качество фотографий — дальность вспышки уменьшается.

Любая фотоловушка должна иметь: пыле-, влагозащищенный корпус; автономный датчик движения; подсветку в ИК диапазоне для ночной съемки; ёмкую батарею, относительно небольшого физического размера; В дополнение к обязательным требованиям, желательными являются следующие: вандалоустойчивый корпус (бокс), либо внешний кейс; возможность дистанционного снятия данных посредством средств GSM связи; работа подсветки в абсолютно невидимом диапазоне с длиной волны 940 нм.

Вандалоустойчивый корпус (бокс) - крепкий металлический ящик, покрашенный в защитный цвет, и усиливающий защиту от физического воздействия. Если фотоловушка закрепляется на дереве, то дополнительно данный бокс фиксируется замком с тросом.

Следует всегда закреплять фотоловушку с помощью антивандального бокса с усиленным тросом; выбирать малоприметное для человека место установки (хотя учитывая специфику охоты, предугадать места установки фотоловушек не сложно); использовать модели с невидимой подсветкой, она же “черная”, она же с длиной волны 940 нм; если есть возможность - размещать фотоловушку внутри специально подготовленных пней, сучков, насыпей, внутри обычных в конкретной ситуации предметов, не вызывающих особого интереса ни у зверя, ни у человека; использовать модель с GSM оповещением: в случае кражи в большинстве случаев фотоловушка успевает отослать несколько снимков вредителя

Следует подключить SIM карту фотоловушки к услуге дистанционного обнаружения от оператора (это можно сделать удаленно, если

карта оформлена на пользователя). Это позволяет ограничить квадрат поиска до нескольких десятков или сотен квадратных метров, что уже сильно поможет; следить за приходящими MMS сообщениями. Если начали приходить пустые сообщения - это первый признак того, что заряд батареи подходит к концу, и с поиском нужно поторопиться. В темное время суток, зная приблизительное место установки фотоловушки, можно воспользоваться любой видеокамерой, не использующей неотключаемый ИК фильтр. Это может быть простая старая черно-белая камера, либо камера смартфона. То, что не видит глаз, отлично видит камера на относительно большом расстоянии. Таким образом, в объективе камеры ИК подсветка будет выглядеть, как обычный фонарь. Нужно всегда менять пороли. Желательны модели, управляемые с пульта без кнопок включения на корпусе. С измененным паролем изменить настройки в данной камере без пульта просто невозможно.

Первые модели фотоловушек не могли отправлять изображения через сотовую сеть, а только сохраняли свои записи и фотографии на карту памяти для последующего их просмотра на встроенном дисплее или компьютере. Поэтому требовалось периодически посещать фотоловушки для получения снятых изображений, что не слишком удобно, особенно если фотоловушка расположена далеко, за сотни километров. Позднее появились модели фотоловушек со встроенным сотовым модулем, в который вставлялась обычная SIM-карта, которые могли отправлять уменьшенные фотографии на мобильный телефон владельца по MMS. Фотоловушки с отправкой фото сразу стали очень популярными, поскольку владелец практически мгновенно узнавал, что происходит возле камеры и мог принять соответствующие меры, и решал - нужно ли ехать к фотоловушке за фотографиями высокого разрешения. Современные модели фотоловушек уже могут отправлять не только уменьшенные, но и полноразмерные фотографии высокого качества и даже видеозаписи, снятые камерой, т.е. необходимость посещения фотоловушек практически отпала - только для замены бата-

реек раз в несколько месяцев. Для обеспечения возможности долговременной работы на батарейках во всех фотоловушках используется спящий режим, т.е. если перед фотоловушкой нет движения, то она выключена, включён только датчик движения с очень малым потреблением - порядка 35 мкА. Фотоловушка включается только при обнаружении движения, при окончании съёмки и отправки изображений ловушка отключается. Такой принцип работы, а также один или два резервных комплекта батареек, позволяют фотоловушке работать несколько месяцев без замены батареек. Многие модели современных фотоловушек имеют очень полезную функцию SMS-управления: теперь можно изменить любой параметр фотоловушки без выезда к камере или запросить фотографию путем отправки SMS с определённым набором символов на номер SIM-карты, установленной в фотоловушку. Такие фотоловушки ещё называют «фотоловушки с обратной связью». Для удобства управления фотоловушкой для владельцев Android и iPhone смартфонов разработаны специальные приложения. Практически все фотоловушки имеют 5 Мегапиксельную (Мп) фотоматрицу, с возможностью программного увеличения разрешения фотографий до 12 Мп и видеозаписей до Full HD 1920x1080 пикселей. Такая высокая чёткость изображений удовлетворяет большинство потребностей владельцев фотоловушек. Все фотографии и видеозаписи сохраняются на съёмной компьютерной SD карте памяти ёмкостью до 32 Gb. Такая ёмкость позволяет сохранять тысячи снимков и сотни видеозаписей. Некоторые фотоловушки могут перезаписывать старые изображения новыми при недостатке свободного места на SD карте. Фотоснимки и видеозаписи могут быть просмотрены на встроенном дисплее фотоловушки, скопированы на компьютер, а самые современные модели фотоловушек Ltl Acorn 6310WMG-3G, Ltl Acorn 6511WMG-3G и Balever 4G 480L могут отправлять полноразмерные изображения высокой чёткости на E-mail или FTP владельца. Активируется лесная камера ИК датчиком движения (иногда ошибочно называемым тепловизором), реагирующим на

изменение температуры, т.е. на появление людей, животных, нагретых предметов (например, автомобиль). Зона срабатывания представляет собой сектор с углом поля зрения 35 - 120 и дальностью до 20 - 25 м. Дальность срабатывания зависит от температуры окружающей среды (чем выше температура, тем меньше дальность). Для подстройки датчика к конкретным условиям можно регулировать его чувствительность. При обнаружении движения охотничья камера выходит из спящего режима и фотографирует и/или записывает видеоклип заданной длительности. Время между появлением движения и фотографированием, т.е. скорость срабатывания фотоловушки, невелика и составляет для разных моделей от 0,4 до 1,2 с. Для увеличения быстродействия фотоловушки LTL Acorn имеют 2 дополнительных боковых датчика движения, которые заранее обнаруживают боковое движение и выводят охотничью камеру из спящего режима, подготавливая её к фотографированию при срабатывании центрального датчика. В этом случае скорость срабатывания составляет всего 0,2с. При недостатке освещения, например, в сумеречное или ночное время, фотоловушка автоматически переходит в режим черно-белой съёмки и, при необходимости, включает ИК подсветку. Фотоловушки могут иметь видимую или невидимую глазу ИК подсветку. Популярность последней выше, т.к. эта подсветка не выдаёт местоположение фотоловушки, однако дальность подсветки такой ИК подсветки меньше. Производители обычно компенсируют это увеличением числа ИК светодиодов в подсветке, однако значительное потребление тока быстрее разряжает батарейки. Заслуженной популярностью пользуются фотоловушки с широкоугольным объективом с углом поля зрения 90°, 100°, 120°. Такие фотоловушки охватывают значительно более широкое пространство по сравнению с фотоловушками со стандартным объективом 52 - 55°. Предметы на изображении широкоугольной ловушки получаются мельче, однако это не является недостатком, т.к. благодаря отличному качеству можно просто увеличить фото на компьютере и рассмотреть мелкие детали. Недостатком ши-

роугольных камер является слабая ночная подсветка по краям получаемых изображений. Кроме съёмки и отправки изображений при срабатывании датчика движения, фотоловушки обычно имеют дополнительную функцию – автоматическую съёмку. Фотоловушка снимает и отправляет изображения через заданный интервал времени, например, каждые 30 минут благодаря таймеру. Фотоловушка работает только в заданный интервал времени, например, с 22.00 до 6.00. Таймеров может быть 2 или 3; отправка отснятых изображений раз в сутки. Это позволяет экономить ресурс батарейки [1 – 14].

Фотоловушки имеют влагозащищенный корпус и предназначены для работы вне помещений в любых погодных условиях и зимой, и летом. Фотоловушки с передачей MMS/GPRS не привязаны к какому-либо оператору и могут работать в любой мобильной сети в любой стране. Настройка фотоловушек обычно возможна с помощью компьютера или без него. Для владельцев Андроид-смартфонов разработано бесплатное приложение Ltl Hunting Camera Tool, которое самостоятельно принимает фото и видео от фотоловушек, сортирует по времени, по камерам, позволяет обрабатывать и пересылать полученные изображения, а также удобно управлять фотоловушками SMS-командами. Приложение можно скачать из Google Play.

Основные параметры фотоловушек представлены в **табл. 1**, их характерный вид – на фото 1 – 4, особенности закрепления в рабочем положении – на фото 5 – 7, характер формируемого изображения – на фото 8, 9.

Типичным представителем ТВ фотоловушек является **Thoreda L510 Plus** (фото 1) - цифровая камера, предназначена для наблюдения за животными леса в среде естественного обитания. Основным отличием L510 Plus (Fuscous) от L510 (Fuscous) является увеличенная дальность ИК подсветки. В L510 Plus (Fuscous) реализована подсветка дальностью до 18 м. L510 Plus (Fuscous) делает высококачественные снимки или записывает видеоролики, в том числе и ночью благодаря встроенной ИК подсветке в невидимом спектре.

Таблица 1.
Основные параметры ТВП фотоловушек (по данным проспектов фирм)

№ п/п	Фирма/модель	D, м/D _{диск} м/λ _{дл} , нм	2ω, град.	U, В/л, мА	Δt _р , °С	Габариты, мм	Масса, г	Стандарт	Разрешение видео, пиксель	Разрешение фото, пиксель	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	СпецТех Кон салтинг/Loreda L510 Plus	До 20/до 18/940	52	=12 (8 бат АА)/150, 800 для ИКП	(-30) – (+70)	120x78x50	260	IP65	1280x720/640x480/320x240/12МП (4000x3000)	5 МП (2560x1290) 1,3 МП (1280x960)	ЖК дисплей 2,4", ВП до 16 Гб, SDHC, t _c = 0,6 с, t _р = 1 – 60 с
2	-/-/Scout Guard MG883-14mHD	До 25/до 25/940	60	=12 (8 бат АА)/150	-<<	140x87x55	360	IP65	1280x720/640x480/320x240/14МП (4320x3240)	10 МП (3648x2736) 5 МП (2560x1920)	ЖК дисплей 1,44", ВП до 32 Гб, SDHC, t _c = 1,2 с, t _р = 5 – 60 с
3	-/-/Scout Guard SG560K-12mHD	До 25/до 20/940	60	-<<	-<<	140x80x50	260	IP65	1280x720/640x480/12МП (4032x3240)	8 МП (3264x2448) 5 МП (2560x1920)	ЖК дисплей 2", ВП до 32 Гб, SDHC, t _c = 1,2 с, t _р = 5 – 60 с
4	-/-/Scout Guard SG560K-14mHD	До 25/до 20/940	60	-<<	-<<	140x80x50	260	IP65	1280x720/640x480/320x240/14МП (4320x3240)	10 МП (3648x2736) 5 МП (2560x1920)	-<<
5	Seelock/Seelock S358	25/18/-	60	=18 (12 бат. АА)/-	(-20) – (+60)	-	-	-	12 МП	12 МП	Одновременная запись видео и фото, t _c = 0,6 с
6	Seelock/Seelock S128	25/18/-	52	-<<	-<<	120x180x155	322	-	12 МП	12 МП	Одновременная запись видео и фото, t _c = 1 с
7	Bushnell/Trophy Cam HD	-	60	=12 (8 бат АА)/-	-	-	-	-	8 МП (1280)	8 МП	ЖК ч-б дисплей, ВП = 32 Гб, t _р = до – 60 с
8	PhotoHunter/Филин MMS	20/25/-	100	=12 (8 бат АА)/-	(-30) – (+70)	-	-	IP54	12 МП (1920x1080)	12 МП	ЖК дисплей 2", ВП до 32 Гб, мicro SDHC, t _р = 5 – 60 с, дв. изобр. – день, ч-б изобр. – ночь
9	Acorn/LTL ACORN LTL-5310 MG	-/18/940	55	=18 (12 бат. АА)/50, 650 при ИКП	-<<	90x145x55	400	IP54	5 МП SMO5 2560x1980 1280x720 640x480 320x240	12 МП (4000x3000)	ЖК дисплей 2,36", ВП до 16 Гб, SDHC, t _c = 0,6 с, t _р = 1 – 60 с

Продолжение таблицы 1

10	Loreda/L510 Plus	20/18/940	52	=12 (8 бат. AA)/150, 800 для ИКП	-<<	120x78x50	260	IP65	1280x720/640x480/320/240/12МП (2560x1920)	5 МП (2560x1290) 1,3 МП (1280x960)	ЖК дисплей 2,4", ВП до 16 Гб, SDHC, t _c = 0,6 с, t _b = 1 – 60 с
11	Scout Guard /Scout Guard MG883G-14mHD	25/25/940	60	=12 (8 бат. AA)/150, 350 для ИКП	-<<	140x87x55	300	IP54	1280x720/640x480/320/240/14МП (4320x3240)	10 МП (3648x2736) 5 МП (2560x1920)	ВП до 32 Гб, SDHC, t _c = 1,2 с, t _b = 5 – 60 с
12	-<</Scout Guard SG560K-12mD	25/20/940	60	-<<	-<<	140x80x50	260	-<<	1280x720/640x480/320/240/12 МП (4320x3240)	8 МП (3264x2448) 5 МП (2560x1920)	-<<
13	-<</ Scout Guard SG560K-14mD	25/25/940	60	-<<	(-20) – (+60)	-	-	-	1280x720/640x480/320/240/12 МП (4320x3240)	8 МП (3264x2448) 5 МП (2560x1920)	-<<
14	Seelock/S358	25/18/-	60	=18 (12 бат. AA)	-<<	-	-	-	12 МП (1920x1080)	5 МП (45000 фото)	t _c = 0,6 с
15	-<</Spromise S-	-<<	52	-<<	-<<	120x80x155	322	-	-<<	-<<	t _c = 1 с,
16	Bushnell/Trophy Cam HD 119676C	-	60	=12 (8 бат. AA)/-	-<<	-	-	-	8 МП (1280x720)	-	t _c = 0,6 с, t _b = 1 – 60 с, ВП до 32 Гб
17	Bushnell/Trophy Cam HD 119677C	-/15/-	-	=18 (12 бат. AA)	-<<	-	-	-	3, 5, 8 МП (1280x720)	-	ЖК дисплей 2,4", t _b = 1 – 60 с,
18	Bushnell/Trophy Cam HD 119436C	-/15/-	-	=18 (12 бат. AA)	-<<	-	-	-	3, 5, 8 МП (1280x720)	-	ЖК дисплей 2,4", t _c = 1 с, t _b = 1 – 60 с, ВП до 16 Гб
19	-/Фотоловушка Филлин 120 MMS	25/-/-	120	=12 (8 бат. AA)/-	(-20) – (+70)	-	-	-	12МП (1920x1080)	-	t _b = 1 – 60 с, ВП до 16 Гб
20	ACORN/Аcorn LTL-5310 MG	20/18/940	55	=18 (12 бат. AA)/50, 650 при ИКП	-<<	90x45x55	400	IP54	1280x720	12 МП	ЖК дисплей 2,36", ВП до 16 Гб, SDHC, t _c = 0,6 с, t _b = 1 – 60 с

21	SimPal/SimPal-6-4	3-7/3/-	68	=3,7	(-10) - (+45)	125x75x40	150	-	-	5 МП 1280x768 640x480 320x240	-
22	Suntek/HC-300 (Camo)	18/18/-	60	=12 (8 бат AA)/150, 350 для ИКП	(-30) - (=70)	80x145x55	303	-	1920x1080 720x480 640x480 320x240 12 МП (4000x3000)	ЖК дисплей 2", ВП до 16 Гб, SDHC, t _c = 1,1 с, t _б = 1 – 60 с	
23	Photohunter/ Co- крл + MMS 3G	20/20/-	60	= 3,7	-<	-	-	-	1920x1080	ВП до 32 Гб	
24	Boly Guard/MG 982G-30M	30/30/940	60	=12 (8 AA) 150, 350 для ИКП	-	147x96x70	292	IP54	1280x720 VGA (640x480) 30 МП (5184x3888)	ЖК дисплей 3", ВП до 32 Гб, t _c = 1,2 с, t _б = 5 – 60 с	
25	Bushnell/Nature view Cam HD Max # 119740	-	50	=18 (12 бат. AA)/250, 1300 при ИКП	(-20) - (+60)	-	-	-	1920x1080 1280x720 640x360	ЖК дисплей ч-б 24x35 мм, цв. 32x42 мм, ВП до 32 Гб, t _c = 0,7 с, t _б = 5 – 60 с	
26	Bestock/LTL- 5210A CAMO	20/20/-	90	=12 (8 AA) 150, 500 для ИКП	(-22) - (+70)	80x134x60	257	-	640x480 320x240	ЖК дисплей 2", ВП до 32 Гб, t _c = 0,8 с, t _б = 1 – 90 с	
27	-</M660-GP	20/20/940	120	=18 (12 бат. AA)/-	(-30) - (+70)	100x145x60	450	IP54	1280x720 640x480 320x240	ЖК дисплей 2", ВП до 32 Гб, t _c = 0,8 с, t _б = 1 – 60 с	
28	Bushmedia/ BolyGuard BG500 HD	22/12/-	50	=3,7	(-20) - (+60)	65x40x110	415	-	5 МП (1280x720)	t _c = 0,3 с	

Продолжение таблицы 1

29	Proline/SG-860M	20/20/-	60	=12 (8 AA)	(-30) – (+45)	98x131x77	303	IP54	1280x720 640x480 320x240	8 МП (3264x2448)	ЖК дисплей 2", ВП до 32 Гб, $t_b = 5 - 60$ с
29	Reconics/HC 600	30/18/-	40	-<<	(-28) – (+50)	115x80x145	986	-	3 МП	3 МП	$t_c = 0,2$ с
30	-<</PC 900	30,5/18/-	40	-<<	(-40) – (+60)	-<<	890	-	3 МП	3 МП	$t_c = 0,2$ с
31	Spromise/S 108	35/18/-	52	-<<	(-20) – (+60)	-	520	-	5 МП	8 МП	$t_c = 0,9$ с
32	-<</S 128	-<<	52	-<<	-<<	-	565	-	Full HD (1440x1080)	8 МП	-<<
33	Спецтех /Страж MMS Black	20/20/-	60	=3,7/200	0 - 50	110x68x48	260	-		480x320 320x240	H = 2 - 2,2 м
34	Hawke/Prostalk Mini Cam (5 МП)	-	45	=6 (4 AA)	-	52x122x41	-	-	2 МП (640x480)	-	ВП до 32 Гб, $t_b = 5 - 60$ с $t_c < 1$ с

Примечания к таблице:

D – дальность видения, *ДИКП* – дальность видения при инфракрасном (ИК) подсвете, 2ω – угол поля зрения, *U* – напряжение питания, $\lambda_{\text{П}}$ – длина волны ИК подсвета, *I* – ток потребления, *ИКП-ИК* подсвет, *U*, - напряжение питания, *I* – ток потребления, Δt_p – диапазон рабочих температур, *МП* – мегапиксели, *ЖК* – жидкокристаллический, *ВП* – внешняя память, *SDHC* – карта памяти, t_c – время срабатывания, t_b – продолжительность видеосъемки, ч-б – черно-белый, цв. – цветной, *H* – высотой, *N* – высота установки.

Интервалы срабатывания камеры при постоянном движении в зоне наблюдения задаются заранее. Влагозащищенный корпус камеры позволяет установить камеру в лесу и оставлять на длительное время, в режиме ожидания камера может работать до 6 месяцев. Для крепления камеры предусмотрен специальный ремень. Питание осуществляется от 8 батареек типа AA. Фото или видеозапись производится на карту памяти формата SDHC до 16 Гб. Управление и настройка камеры осуществляется кнопками, расположенными рядом с дисплеем. Камера реагирует на любое движение животных в зоне действия высокочувствительного пассивного инфракрасного (PIR) датчика, после чего автоматически захватывает изображения высокого качества или записывает видео. На рассвете и днем камера делает цветные фотографии и видеозаписи. При недостаточной освещенности в ночное и вечернее время суток камера работает с включенной ИК подсветкой в черно-белом режиме. Камера устойчива к воздействию дождя и снега.

Фотоловушка ScoutGuard MG883G-14mHD - цифровая камера, предназначена для наблюдения за животными леса в среде естественного обитания. ScoutGuard MG883G-14mHD делает высококачественные снимки или записывает видеоролики, в том числе и ночью благодаря встроенной ИК подсветке.



Фото 1.

Фотоловушка Thorela L510 Plus



Фото 2.

Фотоловушка Филин-120

Интервалы срабатывания камеры при постоянном движении в зоне наблюдения задаются заранее. Влагозащищенный корпус и камуфлированный окрас камеры позволяет установить камеру в лесу и оставлять на длительное время, в режиме ожидания камера может работать до 6 месяцев. Питание осуществляется от 8 батареек типа AA или 4х батареек типа AA повышенной мощности. Фото или видеозапись производится на карту памяти формата SD/SDHC до 32 Гб и отправляется на телефон в виде MMS или на электронную почту через GPRS канал. Остальные параметры фотоловушки – как у модели Thorela L510 Plus

Фотоловушка «Филин 120» (фото 2) - базовая фотоловушка без SIM-карты. Чтобы посмотреть снятые кадры и ролики придется прийти до камеры. Подойдет, когда нет нужды получать снимки оперативно: охотникам для слежки, лесникам, фермерам и любителям природы. Не подойдет охотникам на охоте, владельцам дач и участков, охранникам и заказчикам.

Фотоловушка «Филин 120 MMS/3G» — обновленная в 2017 году фотоловушка «Филин». Больше угол обзора камеры: 120° вместо 60°, лучше реагирует на движение — с 25 м вместо 20 м, быстрее включается — за 0,7 секунд вместо 1,1. В отличие от фотоловушки «Филин 120», фотоловушка «Филин 120 MMS/3G» оборудована антенной и слотом для сим-карты. Через минуту после снимка отправит вам



Фото 3.

Фотоловушка Страж MMS Black

фотографию на почту или телефон MMS-кой. Максимально количество сообщений в день настраивается. Стоимость MMS рассчитывается по тарифам оператора. Подойдет, когда важно получать снимки оперативно, но количество срабатываний камеры в месяц не велико — до 20 - 30 раз. Фотоловушка «Филин 120 MMS/3G» пришлет кадр на почту или мобильный за минуту после съемки через мобильный интернет. Поможет сэкономить на услугах мобильного оператора, подойдет, если оперативность получения снимков важна — охранникам, охотникам, владельцам дач, строек, заповедников.

Фотоловушка **Страж MMS Black** (фото 3) - беспроводная камера с MMS-сигнализацией, поможет решить проблему удаленного наблюдения за объектом и поможет сохранить имущество от посягательства воров. Возможности данной камеры разнообразны, можно использовать ее для наблюдения или как охранную сигнализацию. Камера Страж MMS Black будет неустанно и пристально наблюдать за всем происходящим на объекте, а благодаря датчику движения с радиусом действия до 10 м. Камера в случае обнаружения движения высылает сигнал (SMS, MMS, отправляет снимок на почту, или звонит) и можно видеть все, что происходит на объекте. Кроме того, через данную камеру можно слышать все, что происходит на объекте в отсутствие пользователя в режиме онлайн. Режим тревоги включает в себя акти-

вацию сигнала тревоги (сирены) встроенной в камеру, а также можно подключить внешнюю сигнализацию к данному устройству. Для постановки и снятия с режима охраны в комплекте с камерой Страж MMS идут 2 брелка управления. Данное устройство может работать до 24 часов от батареи 1200 мАч, и снимать даже ночью на расстоянии до 20 м благодаря 24-м ИК светодиодам, высылая снимки в формате 320x240 на внешнее устройство. Камера имеет корпус, выполненный из прочной пластмассы, что позволяет ей не бояться воздействия высоких или низких температур и механического воздействия. Даже если уронить камеру, она продолжит работу в штатном режиме.

Фотоловушка **Сокол +MMS/3G** содержит: датчик движения: 3 уровня, ИК-фильтр (ночная съёмка) и имеет дальность 25 м, время автономной работы: до 3 месяцев (2000mAh). Питание: 8 батареек AA, Внешняя память: SD / MMC карты до 32 Гб (10 класс). Объектив с фокусным расстоянием 3,14 мм; угол обзора 120°, Датчик изображения: CMOS сенсор 16 Мп, разрешение видео: FullHD 1920x1080 пикселей. Имеет водонепроницаемый корпус, диапазон рабочих температур: (-30) - +70°C. Передача фото - в течение 1 минуты.

Солнечная батарея Sun-Light отлично послужит в тех ситуациях, когда необходимо установить фотоловушку на длительный период времени на улице без смены аккумулятора, потому что солнечная батарея Sun-Light будет сама постоянно подзаряжаться посредством воздействия солнечных лучей. Ёмкость батареи 10000 mAh, есть USB выходы: 1A / 2A, габариты 115x75x33 мм.

Фотоловушка - фотокамера цифровая **Hawke Prostalk Cam Mini (5 MP)** имеет основное назначение в качестве лесной камеры для фото- и видеозаписи активности животных в условиях дикой природы и имеет прочный корпус, защищённый от дождя и снега. Преимуществами камеры ProStalk являются компактные размеры и длительный срок работы от одного комплекта батареек. Основные характеристики фотоловушки (лесной камеры) Hawke Prostalk Cam Mini: матрица 5 Мп, компактные габариты



Фото 4.

Фотоловушка MINOX DTC500

147x94x46 мм, длительное время работы, время срабатывания 1 с, ЖК дисплей черно-белый цифровой, автоматический ИК-фильтр, широкоугольный (55°) сенсор движения, 30 ИК светодиодов, индикатор заряда батареек и сенсор освещённости, настраиваемый сенсор движения (2 м – 20 м), интервал съёмки: 1 секунда – 60 минут (1 мин. по умолчанию), серийная фотосъёмка, 3 кадра в серии, видео с высоким разрешением 640x480 пикселей при скорости 30 кадров/сек, поддержка карт памяти SD ёмкостью до 32 Гб, печать в кадре даты, времени и фазы луны, автоматическая выдержка, автоматический баланс белого, защита паролем, питание: 8 батареек AA, ТВ выход, влагозащищённый корпус

Фотоловушка или лесная камера (цифровая автоматическая автономная компактная фотокамера) **MINOX DTC500** с разрешением 8 Мп обеспечивает высокое качество изображения и контраст, чёткость деталей, точность цветопередачи и позволит делать фотографии и снимать видео животных в естественной среде обитания, анализировать из передвижения и поведение. Основные характеристики фотоловушки (лесная камера) MINOX DTC500: цветной встроенный ЖК-дисплей 2,5", 35 ИК светодиодов для подсветки ночью, разрешение CMOS матрицы

5 Мп, разрешение фото 8, 5.1, 3 или 1,3 Мп (по выбору), дневной и ночной режим съёмки, дистанция действия ИК-подсветки и детектора движения до 15 м, время срабатывания камеры 1 с, программируемая длительность видеозаписи от 10 до 60 с, программируемая серийная фотосъёмка до 9 кадров, включение/выключение печати даты, времени, фазы луны и температуры окружающей среды на фото/видео, слот для SD-карты максимальной ёмкостью 16GB, ТВ выход, USB, автономная работа до 6 месяцев на литиевых батарейках AA, возможность подключения внешнего питания, все данные могут быть защищены 4-х значным паролем, гарантия производителя 2 года. Все записи сохраняются на карте SD могут быть просмотрены на встроенном ЖК дисплее 2,5» либо на компьютере (USB-порт) или телевизоре через AV-выход. Прочный влагозащищённый пластиковый корпус предохраняет от дождя, снега, пыли, жары и холода.

Фотоловушка **Acorn LTL-5210A** - цифровая камера, предназначена для наблюдения за животными леса в среде естественного обитания. Acorn LTL-5210A делает качественные снимки или записывает видеоролики, в том числе и ночью благодаря встроенной ИК подсветке.



Фото 5.

Фотоловушка Acorn LTL-5210 MG

Интервалы срабатывания камеры при постоянном движении в зоне наблюдения задаются заранее. Влагозащищенный корпус и камуфлированный окрас камеры позволяет установить камеру в лесу и оставлять на длительное время, в режиме ожидания камера может работать до 6 месяцев. Для крепления камеры предусмотрен специальный ремень. Питание осуществляется от 12 батареек типа AA. Фото или видеозапись производится на карту памяти формата SDHC до 16 Гб. Управление и настройка камеры осуществляется кнопками расположенными рядом с дисплеем или через программное обеспечение на персональном компьютере. Камера реагирует на любое движение животных в зоне действия высокочувствительного пассивного ИК (PIR) датчика, после чего автоматически захватывает изображения высокого качества или записывает видео. На рассвете и днем камера делает цветные фотографии и видеозаписи. При низкой освещенности камера производит запись и делает фото с включенной ИК подсветкой в черно-белом режиме. Камера устойчива к воздействию дождя и снега.



Фото 6.
Установка фотоловушки на столбе



Фото 7.
Фотоловушка, установленная на дереве

Фотоловушка **SG-860M** может снимать в полной темноте до 20 метров с помощью подсветки из 40 ИК излучателей. Принцип действия заключается в возможности производить видео- и фотосъемку на движение, зафиксированное с помощью специальных сенсоров камеры в зоне действия перед ней. С помощью тонких настроек камеры можно четко отрегулировать камеру под любые нужды. Преимущества: 2,4-дюймовый ЖК-дисплей отображает режим съемки и состояния батареи, регулировка чувствительности PIR, цветное изображение в дневное время / черно-белое изображение ночью, поддержка SD карт, мульти-съемка 1/3 фото, продолжительность видео можно выбрать от 10 с до 60 с, программируемый триггер от 30 с до 30 минут задержки, водонепроницаемость – класс защиты IP64, дата и время - на каждом снимке, разъем питания внешний = 12 В.



Фото 8.
Зайцы, зафиксированные фотоловушкой



Фото 9.

Фотоловушка наблюдает за лесом

Фотоловушка **SPromise S108** – прибор нового поколения, объединяющей в себе все передовые технологии в области наблюдения в условиях дикой природы. Является полным аналогом лесной камеры SPromise S128, но не оснащена GSM модулем. Фотоловушка поддерживает видео с разрешением вплоть до FullHD, имеет очень чувствительный датчик движения. На фотографиях помимо даты и времени отображаются лунные сутки, температура окружающей среды и уровень заряда батарей, то есть всё необходимое для полного понимания обстановки, при которой был сделан снимок. Фотоловушка оснащена отсеком на 12 батарей, это позволяет при одинаковых условиях отснять столько же материала, что и Bushnell HD Max и на треть больше фотографий, чем модели других производителей. Свои настройки SPromise S108 сохраняет в энерго-независимой памяти, а при необходимости позволяет сохранить параметры на карту памяти, что очень удобно при оперативном дублировании настроек на несколько фотоловшек в полевых условиях

Таким образом, фотоловушки обладают широкими функциональными возможностями. Перспективы их развития связаны с созданием двухспектральных устройств, состоящих из ТВ и тепловизионного каналов, изображение с выхода которых интегрируется с помощью микропроцессора с целью создания единого высококачественного изображения в условиях всепогодности и круглосуточности работы.

Список литературы:

1. Фотоловушки с MMS и GSM - От 6500р! GPS камеры видеонаблюдения и фотоловшек. Режим доступа: <http://www.proline.ru/catalog/gsm-kanery-videoabjudeniya-fotolovushki-5165/page/1/> (дата обращения 20.12.2018 г.).
2. Фотоловушки «Филин-120» для охоты и охраны. Режим доступа: www.proline.ru/philin120/parameters/ (дата обращения: 25.12.2018 г.).
3. Фотоловушки Сокол и Филин. Режим доступа: <http://www.smart-microcam.ru/?openstat=ZWNOLlhbmlleCSydTsyExMjISNDszOTMONTI2NDA503lhbmlleCSyClid=2362901621389920824/> (дата обращения: 30.12.2018 г.).
4. Фотоловушки. Режим доступа: <https://fotolovushki.ru/category/fotolovushki/> (дата обращения 05.01.2019 г.).
5. Камеры наблюдения за животными (фотоловушки) режим доступа: www.sturman.ru/category/kamery-nabludenija-za-zhivotnimi/ (дата обращения: 07.01.2019 г.).
6. Фотоловушки | каталог. Режим доступа: <https://bready.ru/catalog/okhota/pribiry-ohota/fotolovushki-ohota/> (дата обращения: 12.01.2019 г.).
7. Фотоловушки для охоты. Режим доступа: <https://pro-spec.ru/catalog/fotolovushki/> (дата обращения: 15.01.2019 г.).
8. Фотоловушки Режим доступа: <http://zazverem.ru/index.php/fotolovushki/> (дата обращения 17.01.2019 г.).
9. Фотоловушки фирмы «Навигатор» Режим доступа: <http://www.optic.4.ru/catalog/fotolovushki/> (дата обращения: 18.01.2019 г.).
10. Фотоловушки. Режим доступа: <https://ru.aliexpress.com/popular/photo-traps.html/> (дата обращения: 01.02.2019 г.).
11. Фотоловушки Сокол и Филин Режим доступа: www.smart-microcam.ru/photo-hunter/ (дата обращения: 05.02.2019 г.).
12. Фотоловушки Режим доступа: www.n-sb.ru/fotolovushri.php/ (дата обращения: 10.02.2019 г.).
13. Фотоловушки «Филин» Режим доступа: https://photolovushki.ru/?utm-source=yaindex&utm_medium=cp5&utm-campaign=254979268/ (дата обращения 15.02.2019 г.).
14. Фотоловушки. Режим доступа: www.teltos.ru/fotolovushki/?yclid=2364447680231115915 (дата обращения: 20.02.2019 г.).
15. Фотоловушки Режим доступа: <https://4-hunter.ru/fotolovushki/> (дата обращения: 22.02.2019 г.).

УДК 622.232.8:621.384.3.01:531.714.2



ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ С РАБОЧИМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ДИАПАЗОНОМ СПЕКТРА

ВОЛКОВ В.Г., ГИНДИН П.Д., КАРПОВ В.В., МОИСЕЕВ Е.А.*, СЕНИК Б.Н.*

АО «Московский завод «Сапфир», г. Москва

*ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

E-mail: volkvik2009@yandex.ru, bogdan_senik@mail.ru

Аннотация: В статье рассматриваются приборы ночного видения для ультрафиолетовой области спектра. Приводятся основные параметры и характеристики приборов, описываются их возможности. Представлены основные направления применения.

Ключевые слова: прибор ночного видения, объектив, электронно-оптический преобразователь, окуляр, ультрафиолетовая (УФ) область спектра УФ фонарь, комбинированный осветитель, дальность срабатывания, угол поля зрения, разрешающая способность, напряжение питания, габариты, масса, диапазон рабочих температур.

OPTICAL DEVICES WITH ULTRAVIOLET REGION OF THE SPECTRUM

VOLKOV V.G., GINDIN P.D., KARPOV V.V., MOISEEV E.A.*, SENIK B.N.*

JSC "Moskovskij Zavod "Sapphir"

*PJSC "Krasnogorskiy Zavod named S.A. Zverev"

E-mail: volkvik2009@yandex.ru, bogdan_senik@mail.ru

Abstract: The article deals with night vision devices for the ultraviolet region of the spectrum. The main parameters and characteristics of the devices are given, their capabilities are described. The main directions of application are presented.

Keywords: night vision device, lens, electron-optical Converter, eyepiece, ultraviolet (UV) range of UV lamp, combined illuminator, range of operation, angle of view, resolution, supply voltage, dimensions, weight, operating temperature range.

Ультрафиолетовый (УФ) диапазон спектра находится в интервале от 200 до 380 нм. Возможно использование УФ диапазона при условии работы приборов ночного видения (ПНВ) в пассивном режиме, когда источником освещения является луна и небо, а также в активном режиме при использовании УФ осветителей, в том числе и УФ лазеров, которые могут быть установлены на самолетах и вертолетах [1].

Для работы в атмосферных условиях за последние годы разработаны УФ приборы, реализующие эффект люминесценции (в виде флуоресценции) некоторых объектов земной поверхности. Это в первую очередь различного типа углеводороды, которые под воздействием УФ излучения лазера обнаруживают значительное вторичное собственное излучение в видимой области спектра. Эффект флуоресценции используется для индикации и идентификации разливов нефтепродуктов естественного и искусственного происхождения на суше и на воде [2].

Причинами ограниченного применения пассивных УФ ПНВ в атмосферных условиях являются [2]:

1. сильное поглощение УФ излучения атмосферой, До земной поверхности доходит только его длинноволновая часть 300 – 280 нм, которая к тому же сильно рассеивается атмосферой;
2. сложность создания высокочувствительных быстродействующих приемников излучения;
3. Повышенные требования к качеству изображения УФ объективов (меньшая длина вол-

ны требует более жестких требований к оптике по сравнению с видимой областью спектра);

4. Малые коэффициенты яркости объектов земной поверхности в УФ области спектра. Однако существуют ряд объектов, у которых такое понижения коэффициента яркости незначительны: снег, нефтепродукты и некоторые другие – см. табл. 1 [2]. Из нее видно, что отражательная способность выше от снега, льда, воды и слабее от песка, камней и растительности.

В связи с этим УФ ПНВ используют в основном для работы в помещении, за исключением случаев индикации коронного разряда в высоковольтных линиях электропередач. При этом используется дополнительный канал визуального наблюдения, т.к. в УФ канал можно наблюдать только разряд.

Наибольший эффект следует ожидать от применения УФ приборов для фото- и видеосъемки в криминалистике [1, 3]. В частности, фирмой SPEX Forensics (США) разработан прибор RUVIS (Reflective Ultra Violet Imaging System) – система преобразования УФ изображения в видимое [3]. Главное применение прибора RUVIS – обнаружение латентных (скрытых) отпечатков на гладких непористых поверхностях без обработки и нарушения целостности улик (пластиковые пакеты, кредитные карты, фото, глянцевые поверхности журналов, виниловые и линолеумные покрытия и др.). Прибор RUVIS используется также для обнаружения следов укусов, ушибов, отпечатков подошв обуви,

Таблица 1.

Диффузная отражательная способность наземных объектов в горизонтальной плоскости, %, [2]

Объект	Область спектра		
	Видимая и ближняя ИК (0,5 – 3 мкм)	Фиолетовая (430 нм)	Ультрафиолетовая (300 нм)
Свежий снег, гладкий лед	89	84	85
Светлый сухой песок	37	30	17
Светлый влажный песок	24	14	9
Травяной газон	17	9	3
Луг	9	6	2
Вода	9	-	5
Вода (мелководье)	12	-	10
Кожа	35	-	1

которые не видны при освещении обычным белым светом. Прибор RUVIS позволяет дистанционно осмотреть помещение при входе в него, обнаружить при использовании вместе с LuminoI кровь. Прибор интенсифицирует хемилюминесценцию LuminoI'a делает возможной визуализацию даже самых незначительных следов крови. При этом прибор не вызывает утомления и не представляет опасности для оператора. Прибор SC-VIEWER состоит из объектива и электронно-оптического преобразователя (ЭОП) с УФ фотокатодом и окуляра.

Все ПНВ для работы в УФ области спектра содержат ЭОП с УФ фотокатодом на основе Cs₂Te. Примером такого преобразователя изображения может служить ЭОП 2-го поколения фирмы Hamamatsu (Япония) (модель V2697U – с диаметром фотокатода 18 мм, V3346U – с диаметром фотокатода 25 мм, V5180U – с диаметром фотокатода 40 мм). ЭОП имеет спектральную чувствительность на длине волны 0,23 мкм 20 мА/Вт, коэффициент усиления яркости 2,6x10³, разрешающую способность 40 штр/мм [1]. Для работы в УФ области спектра фирма НПЦ ИКТ «Спектр-АТ» разработала целый ряд приборов, в т.ч. и ПНВ [1].

При этом наибольший интерес представляет УФ область спектра 320 – 380 нм, т.к. практически все краски светятся при их облучении именно в пределах этой области спектра. Такое излучение проходит сквозь обычное стекло и практически безопасно для здоровья [2]. Следует при этом сделать замечание: в литературе УФ излучателями называются даже те, которые излучают в области спектра 400 – 410 нм, хотя это явно фиолетовая область спектра. Тем не менее, здесь мы сохраним такую терминологию, поскольку она получила весьма широкое распространение.

Очень часто УФ ПНВ работают совместно с УФ светодиодными излучателями и осветителями на их основе.

В табл. 2 сведены основные параметры УФ светодиодных (СД) излучателей [4 – 15]. Время их непрерывной работы составляет 5x10⁵ – 10⁶ часов, диапазон рабочих температур от (-40) – (+55)°С до (-60) – (+80)°С (в ряде случаев до +110°С).

На основе УФ СД излучателей разработаны фонари для решения указанных выше задач.

В табл. 3 представлены основные параметры фонарей на основе СД излучателей, работающих в УФ области спектра [16 – 21]. С типичным внешним видом фонарей можно ознакомиться в работе [21].

Для проверки подлинности банкнот в полевых условиях пригодны карманные УФ фонари с длиной волны 365 – 370 нм.

Для проверки паспортов, водительских удостоверений, банковских карт подходят УФ фонари с длиной волны 365 нм. Под таким излучением ярко светятся все защитные УФ метки. Вследствие органической природы старых красок и состава палеонтологических организмов, УФ фонари активно используются в археологии, оценке произведений искусства и палеонтологии. УФ излучение используется для подсвета и определения минералов и мест выхода пород в геологии и спелеологии за счет разноцветного свечения горных пород в УФ спектре. По подобным причинам мощные водонепроницаемые УФ фонари с длиной волны 365 нм используются для подсвета кораллов во время дайвинга [17].

Технология УФ меток используется для маркировки деталей или упаковки на производстве, в качестве противоугонной маркировки в автомобилях. Такая маркировка не видна при обычном свете. И знак, и надпись становятся отчетливо видимыми при подсвете УФ излучением. В некоторых играх также используются невидимые коды, надписи, сделанные флуоресцентными маркерами. Для подсвета таких надписей рекомендуются УФ фонари с длиной волны 385 нм или 395 – 400 нм. При этом фонарь с длиной волны 385 нм будет давать лучший контраст из-за отсутствия паразитной фоновой засветки. Это позволяет быстрее найти код [17].

Флуоресцентная краска иногда добавляется в рабочие жидкости механизмов для поиска течей и неисправностей.

Например, такая краска добавляется в хладагент холодильных установок, холодильников, антифризов. Чтобы обнаружить эту краску, подойдут УФ фонари с длиной волны 395 нм [17].

Таблица 2.
Основные параметры УФ светодиодных излучателей [6 – 15]

№ п/п	Фирма	Модель	Длина волны, нм	Сила света, кд (мощность излучения, Вт)	Ток, А	Напряжение, В	Размеры, мм	Угол расходимости излучения, град.
1	Компания Foryard	3014VC	405	0,18	0,1	3,8	Ø5x34	20
2	-«-	5013VC	405	0,2	0,1	3,8	Ø5x34	20
3	НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ»	У-118УФ-1	405±5	0,035	5-7,5	4	Ø5x8,5	25±5
4	-«-	У-98УФ-1	405±5	0,035	4,5-7	4	Ø5x8,5	10±5
5	-«-	У-164УФ-1	405±5	0,035	4,5-7	4	Ø10x13,5	4±1
6	-«-	У-118УФ-2	395±5	0,035	4,5-7,2	4	Ø5x8,5	25±5
7	-«-	У-98УФ-2	395±5	0,035	4-6,5	4	Ø5x8,5	10±5
8	-«-	У-164УФ-2	395±5	0,035	4-6,5	4	Ø10x13,5	4±1
9	MSE	HB3b-44UV395	395	0,2	0,02	3,7	Ø3x30,7	20
10	-«-	HB3b-44UV405	405	0,2	0,02	3,7	Ø3x30,7	20
11	-«-	HB5-43UV395-B	395	0,25	0,02	3,7	Ø5x34,1	12
12	-«-	HB5-43UV405-B	405	0,15	0,02	3,7	Ø5x34,1	30
13	Далькон	CD530MUV9C	395-400	3-4	0,02	3,4-4	Ø5	24-30
14	-«-	APL2-521UVC-100mcd	400	0,1	0,02	3,5	Ø5	20
15	ООО «Светодиодные технологии»	D502VC	400	0,2			Ø5	20
16	-«-	D801VC	400	0,25			Ø8	20
17	-«-	D1001VC	400	0,25			Ø10	20
18		D303VC	400	0,3			Ø3	25
19	Компания «Технология 21 век»	УФ светодиод	365	(1-3)	0,02	3,6-3,9	-	-
20	-«-	-«-	370	(1-3)	0,35	4	-	-
21	-«-	-«-	370	(3)	0,7	4	-	-
22	КОМПЛАЙТ	EDEV-1LS1-R	400	(1)	0,35	3,4	-	120
23	-«-	EDEV-SLC1-R	400	(3)	0,7	4	-	150
24	-«-	NES110VVC0B	400	(10)	1,35	10,5	-	
25	Kingbright Electronic	LED UV	400	(0,1)			Ø5	34
26	Mod Shop	УФ светодиод	395 - 397	(1)	0,3 – 0,32	2,4-3,6	-	140
27	Edison	EDEV-1LS1	395 - 410	(1)	0,35	3,4	Ø8	150
28	-«-	EDEV-1LA1	395	(1)	0,35	3,5	Ø8	140
29	-«-	EDEV-SLC1-03	395	(3)	0,7	4	Ø8	150
30	-«-	EDEV-3LA1	395	(3)	0,7	3,5	Ø8	240

УФ фонари нашли свое применение в клиринге помещений, в криминалистике и судебно-медицинской экспертизе. Органические жидкости (кровь, моча, сперма и др.) и продукты разложения светятся преимущественно в области спектра 300 – 380 нм. В клиринге для проверки чистоты помещений рекомендуются мощные УФ фонари с длиной волны 365 нм, позволяющей видеть органические загрязнения [17].

Для отверждения (сушки) полимерных материалов (клеев, лаков, красок, геля для ногтей) лучше всего подходят специальные фонари со светодиодами с длиной волны 365 нм [17].

Неразрушающий контроль любых размеров и форм основан на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей (пенетратов) в полости несплошностей. Применяются в энергетике, авиации, ракетной технике, судостроении, химической промышленности и других отраслях.

Таблица 3.
Основные параметры фонарей на основе светодиодных излучателей,
работающих в УФ области спектра [18 – 21]

№ п/п	Модель	λ_p , нм	P, мВт	U, В	Масса, г, (без элемента питания)	Габариты, мм	Примечание
1	УФ фонарь	395		4,5	-	Ø30x95	9 СД
2	УФ фонарь	395		4,5	-	Ø27x95	12 СД
3	Tank007 ТК-566	395	1000	1,5	-	Ø21x97	1 СД
4	Tank007 ТК-737	395	3000	4,5	-	Ø33x115	1 СД
5	YuliTech Nichia YLUVEL-1	365	3000	3	200	Ø45x160	1 СД
6	УФ фонарь	365 - 370		4,5	-	Ø30x100	9 СД
7	Tank007 ТК-566	365	2000	1,5	48		1 СД
8	Tank007 НС-128	365	3000	3	60		1 СД
9	УФ фонарь	375 - 380		4,5		Ø30x100	9 СД
10	UV6	400 - 410	2000	3,7	30	Ø14x140	1 СД
11	Uvet	365	3000	3	160	Ø26x130	1 СД
12	The Labino ® Torch Light-Spotlight	365		3,7	145 (с батареей)	Длина 140 мм	1 СД

Для некоторых материалов и изделий этот метод является единственным для определения пригодности деталей или установок к работе. В этих целях, как правило, используются мощные переносные фонари со светодиодами на 365 нм [16].

Для магнитной дефектоскопии, магнитно-порошкового контроля, криминалистической диагностики используются мощные (не менее 3 Вт) УФ фонари с длиной волны 365 нм. УФ фонари могут использоваться при поиске насекомых, микроорганизмов, грибов. Насекомые выделяются на общем фоне при подсвете в области спектра 300 – 380 нм. Микроорганизмы светятся, в частности, при освещении их УФ фонарями с длиной волны 395 нм [17].

УФ фонари могут использоваться для подсвета флуоресцирующих предметов, заряда

предметов, светящихся в темноте. Флуоресцирующие предметы будут вспыхивать при любом УФ под свете. Однако заряд таких предметов произойдет гораздо быстрее при использовании более низких длин волн УФ спектра (например, 365 – 370 нм) [17].

Существуют, кроме миниатюрных фонарей, более крупногабаритные СД УФ осветители. В частности, СД УФ осветитель The Labino ® BigBeam UV Battery [20] (фото 1) создает энергетическую освещенность 2800 – 3500 мкВт/см² на расстоянии 38 см. Источником излучения являются 9 УФ СД с длиной волны 365 нм. Питание фонаря осуществляется от литий-ионного аккумулятора с напряжением = 14,8 В или от сети ~ 220 В 50 Гц. Время работы аккумулятора без подзарядки составляет 2,3 часа.



Фото 1.
Светодиодный УФ осветитель
The Labino ® BigBeam UV Battery



Фото 2.
Светодиодный УФ фонарь
The Labino ® Torch Light-Spotlight



Фото 3.
Комбинированный осветитель
«Гриф-3» на основе УФ светодиодного излучателя и светодиодного излучателя видимого света свечения

Таблица 4.

Основные параметры полупроводниковых лазерных излучателей, работающих в УФ области спектра [23 – 25]

№ п/п	Фирма	Модель	Длина волны, нм	Мощность излучения, мВт	t _{раб. макс.} , °С	Диаметр корпуса, мм
1	Roithner Lasertechnik GmbH, Австрия	LD-375-20PD	375	20	60	5,6
2	-«-»	DL-3146-151	405	5	60	5,6
3	-«-»	RLT405-10MG	405	20	75	5,6
4	-«-»	DL-4146-101S	405	20	75	5,6
5	-«-»	DL-4146-301S	405	20	75	5,6
6	-«-»	DL-5146-101S	405	40	75	5,6
7	-«-»	DL-LS5017	405	60	50	5,6
8	-«-»	DL-7146-101S	405	80	75	5,6
9	-«-»	DL-405-120	405	120	70	5,6
10	-«-»	DL-405-120PD	405	120	70	5,6
11	ОАО «Кантегир»	Лазерный диодный модуль	400 - 407	100	60	5

Той же фирмой разработан компактный фонарь The Labino ® Torch Light-Spotlight [3.3.20] (фото 2). Его основные параметры даны в табл. 2. Осветитель создает энергетическую освещенность 8000 мкВт/см² на расстоянии 88 см. Время работы осветителя без подзарядки 8 часов. Осветитель обеспечивает полную мощность излучения сразу после включения.

Фирма НПЦ «Спектр-АТ» разработала комбинированный осветитель «Гриф-3» (фото 3) на основе УФ СД излучателя и СД излучателя видимого света свечения [4]. Осветитель содержит лупу с увеличением 2х. мощность УФ излучения составляет 0.03 Вт, длина волны 365 нм, энергетическая освещенность в рабочей зоне составляет 3000 мкВт/см². Время непрерывной работы при питании от литий-ионной батареи составляет более 2 часов, габариты 172x40x30 мм, масса 0,11 кг, диапазон рабочих температур 0 – (+50)°С. Осветитель предназначен для контроля в УФ излучении различных объектов: документов, банкнот и другой печатной продукции, имеющей защиту, наблюдаемую при облучении УФ источниками. Прибор отлично подходит для оснащения курьерских служб, связанных с получением наличных денег, полицейских или пограничных патрулей, занимающихся проверкой документов в условиях, где нет возможности восполь-

зоваться стационарными УФ детекторами [4].

В настоящее время существуют также полупроводниковые лазерные излучатели, работающие в УФ области спектра [23 – 25]. Их основные параметры представлены в табл. 4. Они часто используются в фонарях для дайвинга.

Фирма НПЦ «Спектр-АТ» разработала настольный криминалистический блок «ГЕНЕТИКА-09» для углубленной проверки документов, банкнот, ценных бумаг, других носителей знаковой информации, анализа подлинности произведений искусства, судебно-медицинской экспертизы, обнаружения и регистрации скрытых следов пальцев рук и микро количеств биологических соединений, выявления фактов химического и механического воздействия на объект исследований и др. [1].

Основные параметры блока «ГЕНЕТИКА-09» представлены в табл. 5, а внешний вид – на фото 4.

ООО «А-ТЕК» эксклюзивно представляет фирму SIRCHIE Finger Print Laboratories, Inc. (США), которая является крупнейшим в США производителем экспертно-криминалистических материалов, приборов и лабораторий. Эти фирмы поставляют УФ ПНВ KRIMESITETM IMAGER (фото 5) [26]. ПНВ использует технологию формирования изображения по отраженному УФ излучению, известную под аббре-

Таблица 5.

Основные параметры настольного криминалистического блока «ГЕНЕТИКА-09» [1]

№ п/п	Наименование параметра	Наименование модели блока	
		«ГЕНЕТИКА-09.01»	«ГЕНЕТИКА-09.02»
1	Размеры рабочего стола, мм	314x210	314x210
2	Длина волны падающего излучения, нм: - УФ - ИК	365 830; 940	365 830; 940
3	Падающий белый свет	Есть	Есть
4	Просвет белым светом	Есть	Есть
5	Боковой белый свет	Есть	Есть
6	УФ излучатели	2 светодиода х 3,3 Вт	2 светодиода х 3,3 Вт
7	Рабочая освещенность в УФ свете, мВт/см ²	3,5 (в центре) 4,5 (наибольшая)	3,5 (в центре) 4,5 (наибольшая)
8	Освещенность стола, лк	3.2x10 ³	3.2x10 ³
9	Диагональ ТВ монитора, дюйм	4	4
10	Разрешение экрана штатного жидкокристаллического ТВ монитора, пикселей	960x336	960x336
11	Регулировка наклона ТВ монитора	Есть	Есть
12	Контроль листов А4	Есть	Есть
13	Линейка на рабочем столе	Есть	Есть
14	Размеры поля наблюдения ИК видеолупы, мм	-	24x36
15	Длины волн ИК осветителей видеолупы, нм: - ИК1 - ИК2	- -	830 940
16	Длина волны бокового ИК осветителя видеолупы, нм	-	870
17	Длина волны сине-зеленого осветителя видеолупы, нм	-	505
18	Рабочий спектральный диапазон ТВ канала видеолупы, нм	-	700 - 1000
19	Масса ИК видеолупы, кг	-	0,3
20	Электропитание прибора	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц
21	Потребляемая мощность, Вт	15	25
22	Габариты, мм	286x180x185(245)	286x180x185(245)
23	Масса, кг	1,85	2.35



Фото 4.

Настольный криминалистический блок «ГЕНЕТИКА-09»



Фото 5.

УФ ПНВ KRIMESITETM IMAGER

виатурой RUVIS для определения местонахождения скрытых отпечатков пальцев, невидимых для невооруженного глаза, на большинстве непористых поверхностей. При этом не требуется предварительное применение порошков, химикалий или какой-либо обработки окуриванием. ПНВ не зависит от окружающего освещения, может работать круглосуточно в закрытом помещении или на открытом воздухе. УФ объектив KSS100a ПНВ не требует применения специальных насадок и имеет диапазон фокусировки 70 м - ∞. ПНВ усиливает УФ излучение с длиной волны 254 нм, подавляя излучение всех других длин волн. ЭОП ПНВ преобразует УФ изображение в видимое и усиливает его по яркости. ПНВ портативен, питается от встроенных батареек и готов к работе менее чем через минуту. ПНВ может быть установлен на штативе SIRCHPOD® (KSS9200), а также стыкован с цифровой или пленочной фотокамерой [26].

УФ ПНВ - электронно-оптический дефектоскоп (ЭОД) «Филин-6» [27] (фото 6а) служит для дистанционного контроля высоковольтного энергетического оборудования, находящегося под напряжением.

В основе метода диагностики лежит определение характеристик коронных разрядов (КР) и поверхностно-частичных разрядов (ПЧР), а также их зависимостей от величины напряжения и степени изоляции. Дистанционный контроль с помощью этого ПНВ позволяет с

минимальными затратами времени выявить и определить «нулевые» изоляторы в подвесной фарфоровой изоляции, источники короны и поверхностных частичных разрядов, микротрещины в опорно-стержневой изоляции. ПНВ имеет повышенную устойчивость к фоновым засветкам, влияниям бликов на картину искровых (коронных) разрядов. Изображение с экрана ЭОП с помощью соответствующей приставки может быть передано на фото- или видеокамеру для получения эопограмм разрядов. Надежная регистрация излучения ПЧР обеспечивается с расстояния 4 – 50 м. Рабочая область спектра ПНВ: без фильтров 280 – 800 нм, с полосовыми фильтрами 300 – 400 нм, с диспергирующим фильтром 360 – 560 нм и 600 – 800 нм. Фокусное расстояние объектива, выполненного из кварцевого стекла, равно 108 мм, его относительное отверстие 1:2. Разрешающая способность на экране ЭОП составляет 34 штр/мм, коэффициент усиления яркости не менее 20000, яркость темного фона не более $1,2 \times 10^{-3}$ кд/м². отношение сигнал/шум не менее 45. Напряжение питания = 2,4 – 3 В, ток потребления 130 мА (в постоянном режиме) и 150 мА (в режиме стробирования), масса 2кг, габариты 340x89x75 мм, диапазон рабочих температур (-10) – (+50)°С [27].

На фото 6б. представлено изображение в ПНВ «Филин-6» трещины на опорном изоляторе 110 кВ.



а)



б)

Фото 6.

- а) – электронно-оптический дефектоскоп (ЭОД) «Филин-6»,
б) – наблюдаемая в него трещина на опорном изоляторе 110 кВ*



Фото 7.

*Настольный криминалистический блок
«ГЕНЕТИКА-09»*

В ФГУП СКБ ТНВ ГНЦ НПО «Орион» был разработан ПНВ «Орион-4-УФ» для контроля подлинности денежных купюр в УФ свете (фото 7) [28]. Угол поля зрения ПНВ составлял 35° , увеличение 1,2х, ЭОП – 1-го поколения, диапазон фокусировки 0,25 - ∞ , масса 0,3 кг, габариты 68x60x135 мм, диапазон диоптрийной установки ± 4 диоптрии, напряжение питания 3 В. Диапазон рабочих температур $(-40) - (+40)^\circ\text{C}$. Время непрерывной работы ПНВ без замены батарей и без работы встроенного источника подсвета – 8 часов. ПНВ имеет дополнительный блок питания от напряжения промышленной сети ~ 220 В 50 Гц. Габариты блока 59x50x70 мм, его масса 0,15 кг [28].

Оптический ультрафиолетовый дефектоскоп – ПНВ «Кайман-1» (фото 8) [29] предназначен для поиска дефектов электрооборудования, проводов высоковольтных линий, опорных изоляторов путем визуализации изображения коронных разрядов совместно с изображением контролируемого объекта. Прибор применя-



Фото 8.

*Оптический ультрафиолетовый дефектоскоп
«Кайман-1»*

ется в сумерках и ночью. В нем используется ЭОП поколения 2+, рабочая область спектра 300 – 450 нм, разрешающая способность 57 штр/мм, коэффициент усиления яркости 25000, объектив имеет фокусное расстояние 50 мм (25 мм/78 мм), угол поля зрения 10° , напряжение питания = 3 В, энергопотребление 0,06 Вт, время непрерывной работы в нормальных климатических условиях не менее 48 часов, масса 0,4 кг (с элементом питания), габариты 187x62x75 мм, диапазон рабочих температур $(-20) - (+45)^\circ\text{C}$.

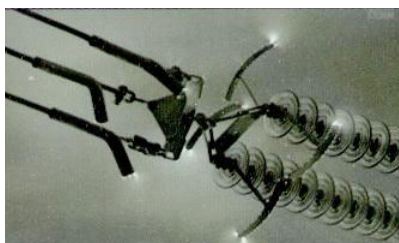
На фото 9 представлены характерные изображения в прибор «Кайман-1».

В УФ ПНВ первоначально использовались ЭОП с TeCs фотокатодом, способным работать в области спектра 250 – 290 нм и с длинноволновой границей 330 – 350 нм. Однако квантовая его эффективность невелика.

В последнее время появились на основе GaN и AlGaIn с длинноволновой границей 290 нм. В ООО «Катод» и ряда НИИ создана



а)



б)



в)

Фото 9.

Типичные изображения в прибор «Кайман-1»:

*а – характер наблюдаемого разряда, б – разряд в месте стыковки проводов,
в – разряд между двумя электродами*

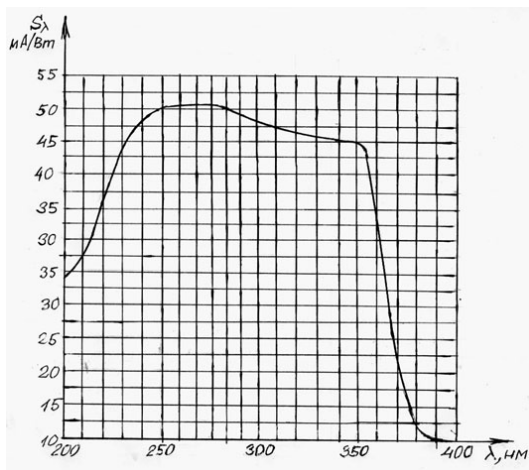


Рисунок 1.
Спектральная характеристика GaN фотокатода

серийно пригодная технология создания GaN фотокатодов с длинноволновой границей 400 нм (рис. 1). Спектральная чувствительность в помехозащищенном диапазоне спектра 250-290 нм составляет (40 – 50) мА/Вт. Термоэлектронная эмиссия равна 10^{-19} А/см² – самая низкая из известных фотокатодов. Долговечность фотокатода при энергетической освещенности 10^{-9} Вт/м² на длине волны 275 нм равна 104 часов. Ценнейшее свойство фотокатода – практическое отсутствие роста темнового тока при нагревании до (+60)°С. В настоящее время ООО «Катод» выпускает УФ ЭОП с GaN фотокатодом: ЭОП 140Г с рабочим диаметром фотокатода 26 мм и с тремя МКП для работы в режиме счета фотонов, а также ЭОП 142Г с рабочим диаметром фотокатода 18 мм и выходным в виде плоского стекла или «твистера» для создания ЦФ ПНВ для визуализации коронного разряда. Кроме того, ООО «Катод» совместно с рядом НИИ проводит разработку AlGaIn фотокатода с длинноволновой границей 290 нм. Это делает фотокатод полностью солнечно-слепым. При этом положение длинноволновой границы может регулироваться в зависимости от мольной доли Al в активном слое (рис. 2). Спектральная чувствительность этого фотокатода в рабочей помехозащищенной области спектра составляет 40 – 45 мА/Вт [30].

Таким образом, существуют разнообразные УФ ПНВ, нашедших весьма широкое применение в современной технике.

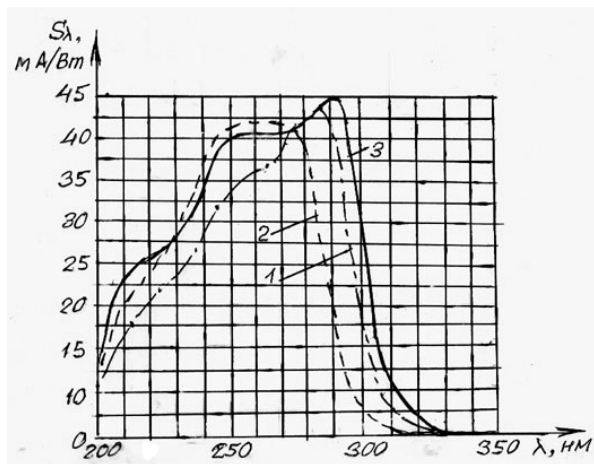


Рисунок 2.
Спектральные характеристики AlGaIn фотокатодов в зависимости от мольной доли Al в активном слое: 1 – Al = 0,37, 2 – Al = 0,33, 3 – Al = 0,29

Список литературы:

1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. М.: Новости, 2009. – 840 с.
2. Груздев В.Н., Иванов В.Н., Суриков И.Н., Шилин Б.В. Дистанционные наблюдения в ультрафиолетовом диапазоне. Оптический журнал, т.70, 2003 г., № 5, с.56-59.
3. Scene Scope. Прибор для оперативной работы на месте преступления. Проспект фирмы SPEX Forensics, США, 2003 г.
4. Криминалистическое оборудование. Каталог продукции. НПЦ антитеррористической и криминалистической техники «Спектр-АТ». РФ, М., 2011. Режим доступа: www.spektr-at.ru/ (дата обращения 10.01.2019 г.).
5. Немного о технологии фонарей на ультрафиолетовых светодиодах. http://super-shtuchki.ru?show=shop&category_id=50/ (дата обращения 10.01.2019 г.).
6. Каталог «Светодиоды-2004». Продукция компании «Foryard». Режим доступа: www.amsi.ru/ (дата обращения 12.01.2019 г.).
7. Светодиодные излучатели. Каталог НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ» РФ., М., 2013 г.
8. Light diodes. Проспект компании MSE, Тайвань, 2013 г.
9. Светодиоды фирмы «Далькон». Режим доступа: www.dalkon.ru/dir.php?id=246/ (дата обращения 12.01.2019 г.).
10. Светодиоды ООО «Светодиодные технологии». РФ, г. Екатеринбург. Режим доступа: www.dankon.ru/led_uv.htm/ (дата обращения 15.01.2019 г.).

11. Ультрафиолетовые светодиоды. Компания «Технология 21 век». Режим доступа: www.super-shtuchki.ru/about.htm/ (дата обращения 20.01.2019 г.).
12. Сверхмощные ультрафиолетовые светодиоды. Фирма КОМІЛАИТ, Украина, г. Запорожье. Режим доступа: www.superled.zp.ua/stran.php?str=101/ (дата обращения 20.01.2019 г.).
13. Light diodes. Каталог фирмы Kingbright Electronic. 2013 г.
14. Светодиод ультрафиолетовый 1 Вт. Режим доступа: <http://www.modshop.com.ua/product&15.html/> (дата обращения 25.01.2019 г.).
15. Мощные УФ светодиоды Edixeon 1 и 3 Вт. Проспект фирмы «ПЛАНАР», РФ., г. Санкт-Петербург, 2013 г.
16. Уф фонарики 395 – 400 нм. Режим доступа: http://super-shtuchki.ru?show=shpo&category_id=29/ (дата обращения 30.01.2019 г.).
17. Ультрафиолетовый фонарь 365 нм. Режим доступа: http://super-shtuchki.ru?show=shpo&category_id=30/ (дата обращения 30.01.2019 г.).
18. Уф фонари 375, 380, 385 нм. Режим доступа: http://super-shtuchki.ru?show=shpo&category_id=50/ (дата обращения 30.01.2019 г.).
19. Уф фонари для отверждения клея. Режим доступа: http://super-shtuchki.ru?show=shpo&category_id=36/ (дата обращения 30.01.2019 г.).
20. Ультрафиолетовые излучатели высокой интенсивности LABINO. Швеция, 2013 г. Режим доступа: www.expertnk.ru/ (дата обращения 10.01.2019 г.).
21. *Волков В.Г.* Обзор профессиональных фонарей. Полупроводниковая светотехника, 2011 г., № 6, с.6 – 11.
22. Тепловизионная Антитеррористическая Специальная Криминалистическая техника. Каталог оборудования. Выпуск № 1. ООО «ТАСК-Т», РФ., М., 2009 г.
23. Laser Diodes Roithner Lasertechnik GmbH, Австрия. Режим доступа: <http://www.roithner-lasercom/ld-diverse.html/> (дата обращения 10.02.2019 г.).
24. Лазерный диодный модуль. Проспект ОАО «Кантегир», РФ, г. Саратов, 2013 г.
25. Портативный криминалистический прибор «Корунд-МТВ». Проспект НПЦ антитеррористической и криминалистической техники «Спектр-АТ». РФ, М., 2017.
26. Ультрафиолетовый прибор ночного видения KRIMESITETM IMAGER. Проспект фирмы ООО «А-ТЕК». РФ, М, 2016.
27. Электронно-оптический дефектоскоп (ЭОД) «Филин-6». Проспект ЦНИТЭ, РФ, г. Новосибирск, 2014.
28. *Волков В.Г., Добровольский Ю.А., Коцаевцев Н.Ф., Федотова С.Ф., Шустов Н.М.* Прибор для контроля банковских купюр. Прикладная физика, 2000, № 5, с.54 – 55.
29. Оптический ультрафиолетовый дефектоскоп «Кайман-1». Проспект НПЦ антитеррористической и криминалистической техники «СПЕКТР-АТ», РФ, М., 2018.
30. *Викулов А.Г., Гамзинов С.В., Гольдберг И.И., Долгих А.В.* Фотокатоды GaN, AlGaN для ультрафиолетовой области спектра в серийном производстве ООО «Катод». Труды XXV международной научно-технической конференции и школы по фотозлектронике и приборам ночного видения. Пленарные и устные доклады. Том 1. – М.: АО «НПО «Орион», 2018 г. – М.: Издательство «ОФСЕТ МОСКВА», 2018. – 611 с., С.140 – 143.

УДК 535.4: 681.7.02-04:681.787



ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗЕРКАЛ ДЛЯ НОВОГО ТУРЕЦКОГО ТЕЛЕСКОПА С 4-х МЕТРОВЫМ ГЛАВНЫМ ЗЕРКАЛОМ

АБДУЛКАДЫРОВ М.А., СЕМЕНОВ А.П., БЕЛОУСОВ С.П., ВЛАДИМИРОВ Н.М., ДОБРИКОВ Н.С., ИГНАТОВ А.Н., ПАТРИКЕЕВ В.Е., ПРИДНЯ В.В., ПОЛЯНЩИКОВ А.В., *НАСЫРОВ Р.К.

АО «Лыткаринский завод оптического стекла», Московская обл., г. Лыткарино

*Институт автоматики и электрометрии САО РАН (Новосибирск)

E-mail: lastro@lzos.ru, nasyrov.ruslan@gmail.com

Аннотация: описана технология изготовления и контроля зеркал для телескопа DAG (Doğu Anadolu Gözlemevi), изготовление которого ведет бельгийская фирма AMOS. АО ЛЗОС выполняет работы по производству и контролю трех зеркал: главное вогнутое гиперболическое диаметром 4 м, вторичное выпуклое гиперболическое – 764 мм и третичное эллиптической формы с плоской рабочей поверхностью размером 890х650 мм. Главное зеркало изготовлено из Zerodur, а вторичное и третичное из Астроситалла. Также изготавливаются вспомогательные элементы. Контейнеры, грузозахватные устройства и т.д. Особенности обработки и контроля зеркал описаны в статье.

Ключевые слова: оптика телескопов, изготовление оптики, контроль оптики, асферические зеркала.

PRODUCTION OF MIRRORS FOR THE NEW TURKISH TELESCOPE WITH A 4-METER PRIMARY MIRROR

MAGOMED A. ABDULKADYROV, ALEKSANDR P. SEMENOV, SERGEY P. BELOUSOV, NIKITA M. VLADIMIROV, NIKOLAY S. DOBRIKOV, ALEKSANDR N. IGNATOV, VLADIMIR E. PATRIKKEEV, VITALIY V. PRIDNYA, ANDREY V. POLYANCHIKOV, *RUSLAN K. NASYROV

JSC “Lytkarino Optical Glass Factory” (LZOS), Lytkarino, Moscow region, Russian Federation

*Institute of Automatic and Electrometry Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia

E-mail: astro@lzos.ru, nasyrov.ruslan@gmail.com

Abstract: This paper describes the technology of production and testing of mirrors for DAG Telescope (Doğu Anadolu Gözlemevi) produced by Belgium Company AMOS. JSC LZOS fulfils works on production and testing of three mirrors: primary concave hyperbolic mirror of diameter 4 m, secondary convex hyperbolic mirror – 764 mm and tertiary elliptical mirror with flat working surface with dimensions 890x650 mm. The primary mirror is produced from Zerodur, while the secondary and the tertiary ones – from Astrositall. Some auxiliary elements, containers and handling tools, etc. are also produced at JSC LZOS. Special aspects of mirrors machining and testing are also reflected in this article.

Keywords: Telescopes, optical fabrication, optical testing, aspheres, segmented mirrors, astronomical and space mirrors.

ВВЕДЕНИЕ

Телескоп DAG (Doğu Anadolu Gözlemevi) – это 4-м телескоп Ричи-Кретьена с активной и адаптивной оптикой, который будет установлен в новой обсерватории, расположенной на горе высотой 3170 м, вблизи Эрзурума в Турции [1]. Телескоп имеет фокусное расстояние 56 м и поле зрения 30 угловых минут, два фокуса Несмита. Телескоп включает вогнутое гиперболическое зеркало M1 и выпуклое гиперболическое зеркало M2. M3 – плоское зеркало, поворачивающее оптическую ось по направлению к двум фокусам Несмита при помощи системы вращения.

Разработкой конструкции и изготовлением телескопа занимается бельгийская фирма AMOS. АО ЛЗОС по контракту с AMOS выполняет работы по изготовлению оптики для данного телескопа. Главное вогнутое гиперболическое зеркало имеет диаметр 4 м, вершинный радиус $R_c = 14420 \text{ мм} \pm 12 \text{ мм}$ ($F/1,80$), коническая константа $K = -1,006574 \pm 0,0004$, асферичность 153 мкм на полном диаметре и 139 мкм в световой области, материал зеркала Zerodur[®] фирмы SCHOTT. Вторичное выпуклое гиперболическое зеркало из Астроситалла имеет диаметр 764 мм, вершинный радиус $R_c = 2725,760 \text{ мм} \pm 5 \text{ мм}$ ($F/1,54$), коническая константа $K = -1,738819 \pm 0,001$, асферичность 56 мкм на полном диаметре и 41 мкм в световой области. Третичное зеркало эллиптической формы с плоской рабочей поверхностью также из Астроситалла имеет размеры 890x648 мм.

На главном зеркале были выполнены операции по шлифовке и полировке оптической асферической поверхности, приклеены интерфейсные элементы по оригинальной технологии, изготовлен транспортировочный контейнер, модернизирован кантователь. Для обработки и контроля зеркала используется мембранно-пневматическая оправа. Контроль зеркала выполняется в вертикальном стенде, на площадке которого установлено контрольное оборудование и корректор на базе дифракционного оптического элемента (CGH корректор волнового фронта).

Вторичное зеркало обрабатывается с использованием автоматизированных станков и

контролируется в горизонтальном стенде с использованием двух эталонных сфер Хиндла. Карта волнового фронта всего зеркала вычисляется с использованием метода переналожения двух волновых фронтов от каждой сферы Хиндла. Зеркало при этом базируется в штатной оправе, изготовленной AMOS. Для доставки зеркала к месту функционирования изготовлен транспортировочный контейнер, грузозахватное устройство.

Третичное зеркало изготовлено. Материал зеркала – Астроситалл. Контроль зеркала выполнялся в схеме Ричи-Коммона под двумя углами и при этом зеркало базировалось в штатной оправе, разработанной AMOS. Для зеркала также изготовлены ГЗУ и контейнер.

1. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ И КОНТРОЛЯ ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА

Параметры главного зеркала представлены в таблице 1.

Среднеквадратичное отклонение (RMS) волнового фронта определяется аппроксимацией отклонений волнового фронта от заданного с помощью полиномов Цернике и для комбинаций различных членов полиномов Цернике, определяющих низкие и высокие частоты, должны выполняться заданные критерии среднеквадратичных отклонений.

1.1. Приклейка интерфейсных элементов главного зеркала

Для установки зеркала в штатную оправу телескопа к зеркалу с тыльной и боковой сторон приклеиваются интерфейсные элементы, изготовленные из инвара, 66 основных осевых элементов и еще 12 вспомогательных, а также 27 боковых элементов.

Таблица 1.
Параметры главного зеркала

Материал	Церодур
Форма	Вогнутый гиперболоид
Внешний диаметр	4000 мм
Диаметр отверстия	820 мм
Толщина	140 мм (мениск)
Световая апертура	3942 мм
Радиус кривизны	$14420 \pm 12 \text{ мм}$
Коническая константа	$-1,006574 \pm 0,0004$
Асферичность от ближайшей сферы	139 мкм

Точность позиционирования от $\pm 1,2$ мм для основных 66 элементов и $\pm 0,2$ мм и $\pm 0,1$ мм для 12 вспомогательных опор конструкции оправы телескопа. А для боковых опор точность позиционирования в продольном направлении $\pm 0,25$ мм, а для трех элементов $\pm 0,1$ мм. В вертикальном направлении точность позиционирования от базовой плоскости $\pm 0,1$ мм.

Заготовка М1 устанавливалась на координатно-фрезерный станок на специальную оснастку, позволяющую перемещать заготовку в вертикальном и горизонтальном направлении. Выполнялась центрировка зеркала на станке с точностью 0,03 мм по внешней образующей зеркала и по наклону. Для приклейки осевых и боковых опор использовался оригинальный метод, основная идея которого заключается в том, что к детали временно приклеиваются элементы оснастки для установки и позиционирования инваровых интерфейсных элементов, выполняется точная юстировка элементов на координатно-фрезерном станке и фиксируется данное положение оснастки (рис. 1-3) [2-4].

Оснастка для осевых инваровых элементов приклеивалась к площадкам на тыльной поверхности зеркала. Оснастка для боковых опор приклеивалась на боковую поверхность. Нижняя часть приспособления приклеивались на наклейчную смолу, а верхняя пластина юстировалась в соответствии с требованиями на позиционный допуск приклеиваемых элементов в горизонтальном и вертикальном направлении. Все приспособления юстируются по кругу до тех пор, пока не будет достигнута минимальная разница в измеренных расстояниях между приспособлениями для приклейки и будет достигнуто нужное расстояние в вертикальном направлении. Пазы приспособлений для приклейки изготовлены с точностью в сотые доли миллиметра. Параллельность элемента и необходимое расстояние по вертикали от базовой поверхности обеспечивались с помощью косиномера.

Такое положение оснастки может быть проверено и уточнено и только когда получена полная уверенность в достижении точного позиционирования, выполняется процедура приклейки элементов (рис. 4).



Рисунок 1.
Юстировка оснастки для осевых элементов



Рисунок 2.
Юстировка прототипа интерфейсного элемента на координатном станке

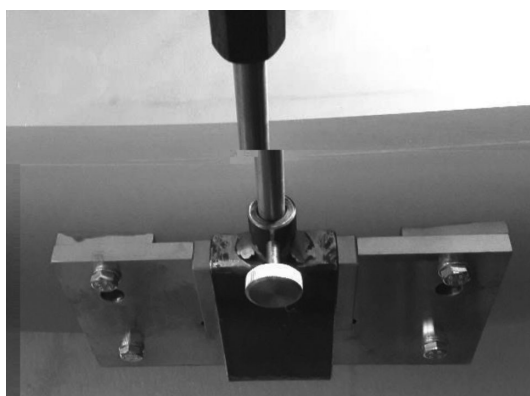


Рисунок 3.
Юстировка оснастки для боковых элементов, юстирующий механизм выводился на середину элемента



Рисунок 4.
Приклейка одного из боковых элементов



Рисунок 5.
Приклеенные интерфейсные элементы

Позиции приспособлений для приклейки таким образом были съюстированы с точностью 0,02-0,03 мм в продольном направлении и с точностью менее 0,1 мм по вертикали. Для согласования позиций осевых и боковых элементов первый базовый элемент, паз первого приспособления, определяющий положение базы, выставлялся с помощью лазерного трекера от осевых элементов с точностью 0,02-0,03 мм.

После полимеризации оснастка удаляется, и остаются только приклеенные элементы (рис. 5). Для приклейки оснастки используется клеочная смола производства ЛЗОС, которая обладает достаточной прочностью приклейки и легко снимается при резком коротком ударе. Вид приклеенных боковых опор приведен на рис. 5-6.

Следует специально отметить, что позиционирование осевых интерфейсных элементов выполнялось с более высокой точностью: 0,02-0,03 мм вместо 1,2 мм. Это было сделано для того, чтобы существенно снизить погрешности воздействия технологической оправы на деформации зеркала, о чем пойдет речь в следующем разделе.

1.2. Разгрузка зеркала на технологической оправе

В процессе формообразования зеркало устанавливается на мембранно-пневматическую оправу на 66 опорных интерфейсных элементов в вертикальном стенде контроля, расположенном над обрабатывающим станком [3-5]. Ясно, что разгрузка на данных опорах отличается от разгрузки на штатной оправе телескопа, где задействованы еще дополнительные интерфейсные элементы. Разгрузка на мембранах рассчитана на то, чтобы равномерно



Рисунок 6.
Аттестация высот интерфейсных элементов

разгрузить вес зеркала. Поэтому необходимо было произвести модельные расчеты деформаций рабочей поверхности зеркала на мембранно-пневматической оправе и учитывать эту разницу в процессе формообразования.

Система технологической разгрузки зеркала обеспечивает деформационные изменения формы поверхности зеркала в процессе технологического и аттестационного контроля в допустимых пределах, меньших по амплитуде, чем требуемый размах ошибок поверхности обрабатываемого зеркала. Каждая мембранная опора тарируется, чтобы обеспечить одинаковое усилие на зеркало, с точностью в 10 г, в заданной точке тыльной поверхности зеркала, и обеспечить одинаковую высоту мембран с точностью в 0,015 мм. Для зеркала М1 на мембранно-технологической оправе на каждую опору приходится нагрузка в 65 кг. Разгрузочная оправа снабжена системой автоматической стабилизации положения зеркала на оправе при изменении внешних условий (атмосферного давления, влажности) во время контроля формы поверхности, что обеспечивает неизменное состояние формы поверхности с необходимой точностью. Оправа представлена на рис.7-8.

В соответствии с результатами моделирования было получено, что если располагать мембраны в точках приложения усилий штатной оправы, то возникают ошибки на поверхности, основные из которых расфокусировка, астигматизм, триангулярная кома и сферическая аберрация. Остальные ошибки, «следы» от элементов разгрузки, малы и будут устранены в процессе формообразования, поскольку они есть при расчете деформаций зеркала и на

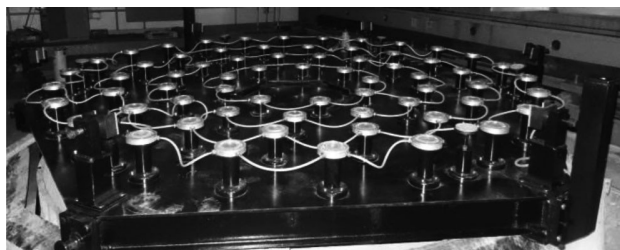


Рисунок 7.
Мембранно-пневматическая оправа

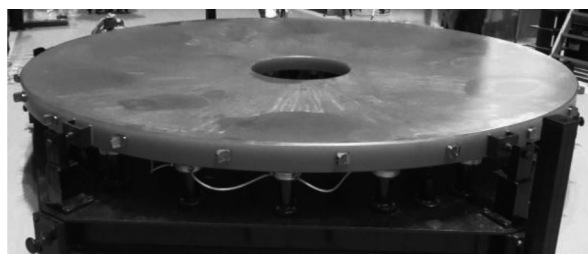


Рисунок 8.
Зеркало на технологической оправе

штатной оправе и на технологической и определяют высокочастотные ошибки. Расфокусировка составляет величину 1,5 мкм и не влияет на параметры зеркала, поскольку вносит ошибку в радиусе всего в 0,12 мм, но и ее можно учесть при формообразовании.

Вычитая данный волновой фронт из получаемого волнового фронта в процессе контроля поверхности зеркала, мы тем самым устраняем разницу между разгрузкой в штатной оправе и технологической мембранно-пневматической и выполняем обработку до требова-

ний спецификации. Возможные погрешности в моделировании различия в разгрузках зеркала при обработке и при эксплуатации будут компенсированы активной системой воздействия на главное зеркало.

Вид волнового фронта и соответствующая ему интерферограмма, которую необходимо получить на мембранно-пневматической оправе, представлены на рис. 9-10. Также даны величины ошибок волнового фронта, которые необходимо получить.

Как уже было сказано, позиционирование осевых интерфейсных элементов выполнялось с более высокой точностью, 0,02-0,03 мм вместо 1,2 мм. Это было сделано для того, чтобы существенно снизить погрешности воздействия технологической оправы на деформации зеркала при установке его на мембранно-пневматическую оправу. Были выполнены расчеты деформаций зеркала при смещении его относительно оправы на 0,5 мм, 1 мм, а также при ошибке позиционирования осевого интерфейсного элемента на $\pm 0,5$ мм и ± 1 мм. Смещение мембраны относительно номинального положения в пределах 1-2 мм несущественно влияет на деформации зеркала, поскольку у мембраны опорная площадка диаметром 80 мм создает то же воздействие на интерфейсный элемент, что и без смещения, а вот смещение интерфейсного элемента приведет к тому, что усилие к зеркалу будет прилагаться в смещенном месте

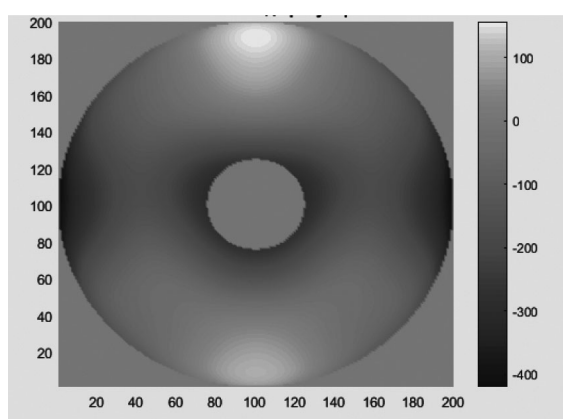


Рисунок 9.
Форма волнового фронта при разгрузке зеркала на технологической оправе



	RMS	P - V
All	0,348	1,823
- Tilt	0,348	1,823
- Focus	0,348	1,823
- Astigmatism	0,168	0,770
- Coma3	0,348	1,823
- Coma5	0,348	1,823
- Triangular	0,345	1,749
- Quadratic	0,348	1,820
- Spherical	0,315	1,702
Local	0,068	0,344

	Coefficient
Focus	0,001

	Coefficient	Angle
Tilt	0,000	-0,060
Astigmatism	0,749	0,016
Coma3	0,002	-5,992
Coma5	0,003	169,632
Triangular	0,126	0,023
Quadratic	0,014	-44,987

	Coefficient
Spherical (0)	-0,790
Spherical (2)	6,328
Spherical (4)	-15,219
Spherical (6)	15,784
Spherical (8)	-6,475

Рисунок 10.
Модельная интерферограмма требуемого волнового фронта и параметры отклонений волнового фронта

Таблица 2.

Среднеквадратичные значения (RMS) коэффициентов полиномов Цернике низкого порядка в мм

Порядок 2	Порядок 3	Порядок 4	Порядок 5	Порядок 6	Порядок 7-11
Цернике 5-6	Цернике 9-10	Цернике 11-15	Цернике 16-21	Цернике 22-28	Цернике 29-78
50	20	8	7	4	5

и это существенно повлияет на форму волнового фронта. В телескопе это компенсируется активным воздействием на опору, а в статической мембранно-пневматической разгрузке такой компенсации нет. Расчеты показали, что осевые интерфейсные элементы должны быть приклеены с точностью <math><0,5\text{ мм}</math> от номинального положения, что и было выполнено.

1.3. Производственный контроль главного зеркала

Главное зеркало DAG M1 диаметром 4000 мм имеет асферичность 139 мкм и апертуру $f/1,8$, а также очень высокие требования к точности изготовления оптической поверхности. Задаются требования RMS на комбинацию коэффициентов Цернике до 78 члена (таблица 2), определяющие требования низкого порядка, а также структурная функция, определяющая требования высокого порядка. Похожие требования предъявляются и для зеркал M2, M3.

Для контроля зеркал используются CGH корректоры [6-8]. Изготовлены два CGH корректора. Первый корректор рассчитан на идеальный волновой фронт от зеркала. CGH корректор рассчитан и изготовлен Институтом автоматизации и электротехники СО АН (Новосибирск) [11-13]. Он преобразует сферический волновой фронт в асферический и обратно. Корректор изготовлен на кварцевой пластине диаметром 102 мм, диаметр корректора 80 мм, диаметры кольца вспомогательной настроечной сферы 82-92 мм. Расстояние от голограммы до точки фокуса 1170 мм. Для тестовой проверки CGH корректора изготовлен CGH имитатор на подложке из Астроситалла диаметром 102 мм. Диаметр самого имитатора 92 мм. Схемы контроля зеркала с корректором и корректора с имитатором представлены на рис. 11-12, а также представлены фотографии корректора и имитатора (рис. 13-14).

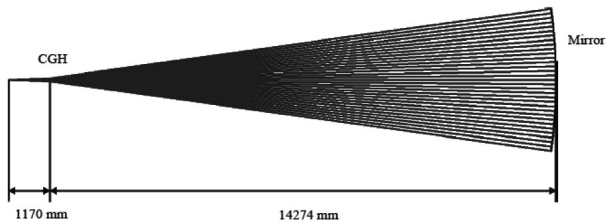


Рисунок 11.

Схема контроля зеркала с CGH

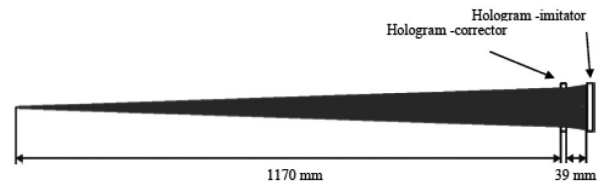


Рисунок 12.

Схема контроля корректора с имитатором

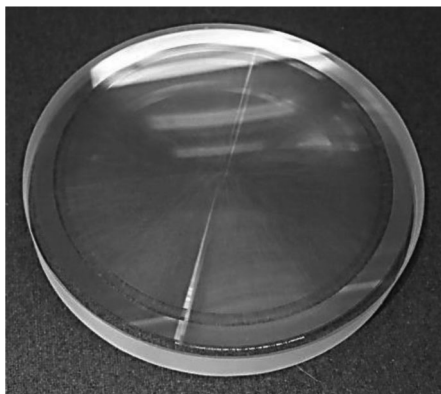


Рисунок 13.

CGH корректор

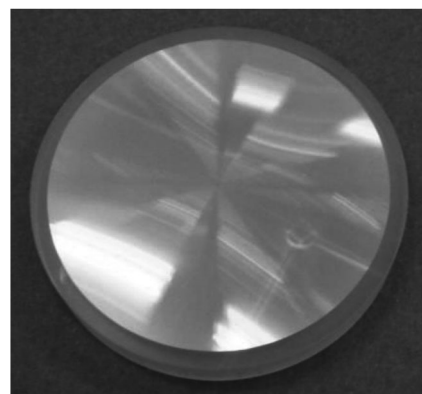


Рисунок 14.

CGH имитатор

Но как уже было отмечено, необходимо получить форму поверхности зеркала с отклонениями от идеальной, представленной на рис. 9. Смоделированный волновой фронт соответствует разгрузке зеркала на технологической оправе, отличной от разгрузки на штатной оправе телескопа. Для этого изготовлен второй корректор, который выполняет коррекцию смоделированного волнового фронта.

Форма волнового фронта, создаваемая корректором, проверялась с помощью имитатора зеркала (CGH imitator). Результаты являются вполне удовлетворительными ($RMS(W) < 0,012I$) и корректор пригоден для контроля главного зеркала.

Кроме того, данный корректор волнового фронта имеет еще дополнительную кольцевую структуру, фокусирующую голограмму, которая создает светящуюся точку в вершине зеркала (рис. 15). С помощью данной точки мы можем определить смещение вершины асферической поверхности относительно геометрического центра зеркала, что требуется в соответствии со спецификацией. Точность позиционирования такой точки зависит от точности установки CGH относительно интерферометра. В том случае, когда CGH работает из расходящегося пучка, CGH юстируется при помощи отражающей голограммы. Такая отражающая голограм-

ма рассчитывается так, что на ней возникает бесконечная полоса, когда CGH точно выставлено относительно интерферометра. Для DAG M1 фокусирующая структура была выполнена в виде кольца вокруг основной структуры. Такая структура формирует точку в вершине зеркала. Расстояние фокус-CGH = 1170 мм, Расстояние CGH-зеркало = 14274 мм, Отражающая сфера = 86-96 мм, фокусирующее кольцо (Focusing Diameter) = 80,4-84,4 мм.

На практике, добиться менее одной полосы на отражающей голограмме невозможно. Значения наклона, при котором на отражающей структуре возникает одна полоса, следующие: CGH Tilt (α) = 0,7 угловых секунд, Смещение вершины зеркала (d) = 48 мкм, Размер пятна = 260 мкм. Также полосы могут возникнуть и за счет поперечного смещения CGH. Однако, из-за того, что падающий пучок сферический, такое смещение можно представить как комбинацию наклона и дефокусировки. На рис. 16 приведена схема смещения сфокусированной точки при наклоне CGH. Из рисунка видно, что при наклоне CGH на угол α смещение точки составит $d = L * \tan(\alpha)$. Очевидно, что наклон голограммы при одной полосе на отражающей структуре не зависит от расстояния F, он определяется только диаметром отражающей голограммы.

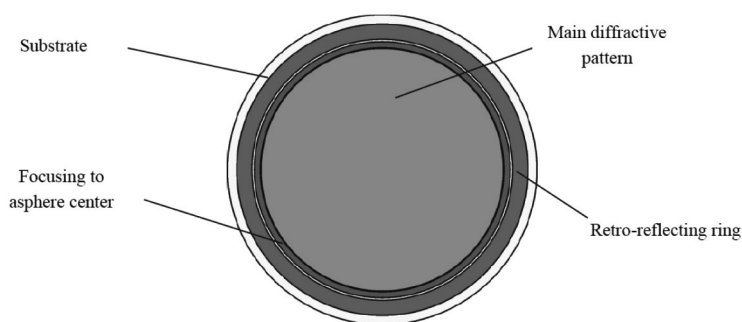


Рисунок 15.
Структура CGH

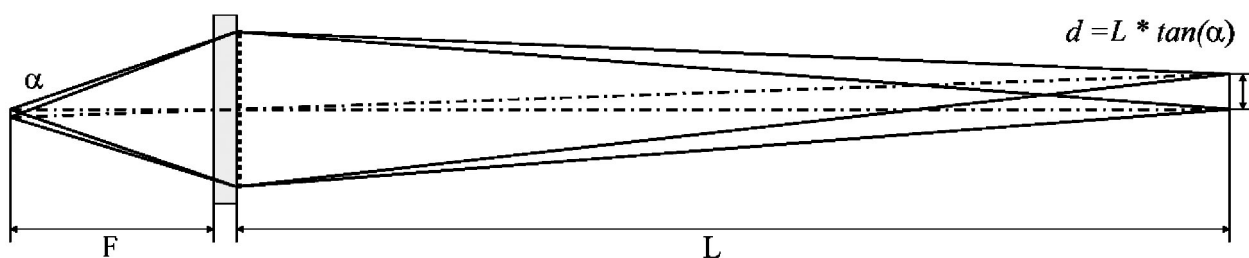


Рисунок 16.
Смещение маркера вершины поверхности при наклоне голограммы относительно интерферометра

Размер пятна определялся по критерию Рэлея $2,44 \lambda/D$, где D – диаметр фокусирующей структуры, а $\lambda = 0,6328$ мкм – длина волны интерферометра. Видно, что смещение вершины (48 мкм) меньше размера пятна (260 мкм). Однако на практике, даже одну полосу сложно стабильно выставить, обычно их может быть три-четыре. Поэтому, смещение вершины необходимо умножить на количество полос. Это верно для небольшого числа полос на интерферограмме.

Таким образом, видно, что указанный метод теоретически позволяет определить положение вершины зеркала с точностью порядка 100 мкм, на практике чуть больше.

Разработка и изготовление CGH проводилось в рамках комплексной программы фундаментальных научных исследований (Государственный регистрационный номер АААА-А17-117052210002-7).

Ошибка микроструктуры на CGH очень мала по сравнению с ошибкой вызванной смещением CGH. Кроме того, для кольцевой структуры ошибка будет симметричной, поэтому она не сможет привести к смещению сфокусированной точки.

Можно провести такую оценку для зеркала M1: смещение сфокусированной точки на $d=10$ мкм на плече $L = 15$ м соответствует углу $\alpha = d/L$. При таком наклоне, ошибка волнового фронта фокусирующего элемента диаметром $D = 80$ мм будет $WFE = \alpha D = Dd/L = 80 \cdot 0,01/15000 = 0,053$ мкм. Это соответствует ошибке $\lambda/10$. Для того, чтобы возникло такое смещение, ошибка должна быть в виде наклона, при этом основная структура такого наклона не должна иметь. Ширина фокусирующего кольца 5 мм. Не бывает такого, чтобы на пяти миллиметрах происходил скачок фазы $\lambda/10$. Точность позиционирования записывающего пучка $\text{error} = \pm 50$ нм. Ошибка волнового фронта вызывается смещением штриха и обратно пропорциональна периоду. Для M1 период был 15 мкм, соответственно возможная ошибка $0,00005/15 = 3 \cdot 10^{-6} \lambda$.

1.4. Изготовление вспомогательного оборудования

Заготовка зеркала M1 из материала Zerodur® фирмы SCHOTT в виде мениска со сферическими шлифованными поверхностями и плоскими площадками в виде пазов для приклейки инваровых элементов была доставлена в АО ЛЗОС. Транспортировка зеркала внутри цеха, установка его на технологическую оправу осуществляется с помощью текстильных лент. Кантование зеркала осуществляется с использованием кантователя (рис. 17).

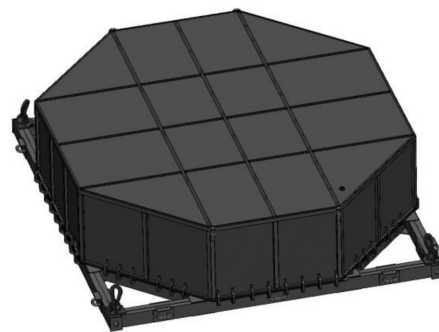
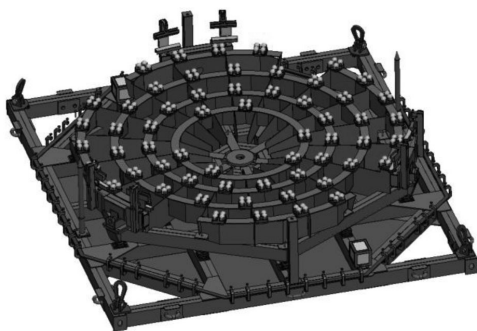
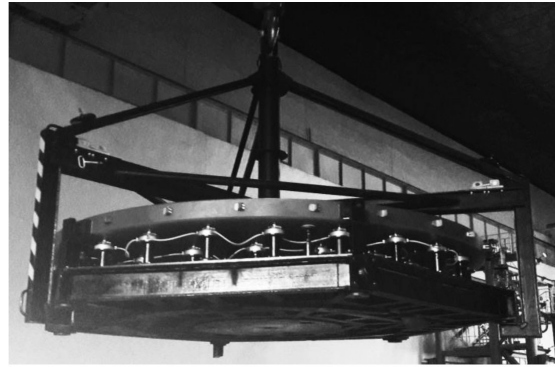
Для транспортировки зеркала с технологической оправой используется специальное технологическое ГЗУ, разработанное и изготовленное в АО ЛЗОС (рис. 18).

Для транспортировки зеркала в контейнер (рис. 19) используется ГЗУ, разработанное и изготовленное в AMOS. Это же ГЗУ в дальнейшем будет использоваться для извлечения зеркала из контейнера и установки его в телескоп (рис. 20). Контейнер разработан в АО ЛЗОС (рис. 19).

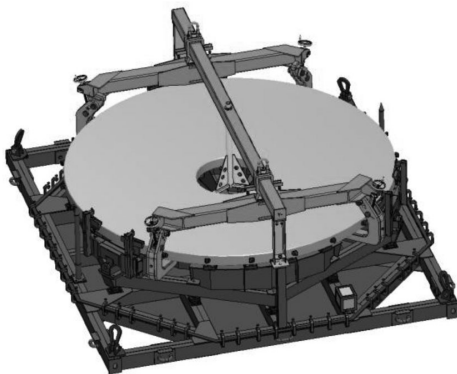
Заготовка зеркала была доставлена на ЛЗОС тыльной поверхностью вверх, для осуществления операций по приклейке интерфейсных элементов. Поэтому после приклейки инваровых элементов оно переворачивалось с использованием кантователя.

Для транспортировки зеркала в обсерваторию сконструирован и изготовлен контейнер (рис. 19-20).

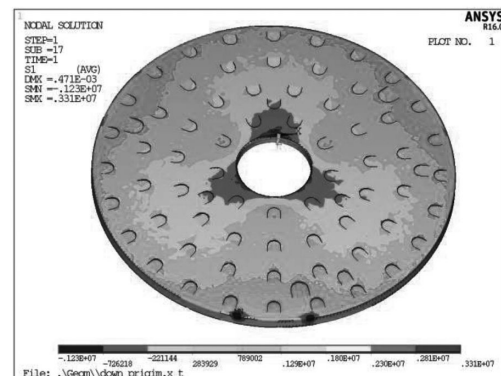
Зеркало в контейнере располагается на теннисных мячах, две трети веса приходится на них и одна треть на жесткие упоры. В контейнере предусмотрены различные системы защиты и установлены амортизаторы для экстренных случаев торможения и различных перегрузок, возникающих при автомобильной и авиационной транспортировке. На контейнере установлен пирующий датчик вибраций, описаны допустимые скоростные режимы транспортировки контейнера с зеркалом. Выполнен динамический расчет как самого контейнера, так и деформации зеркала в контейнере при различных нагрузках в процессе транспортировки наземным и морским транспортом, а также при проведении такелажных работ. Картина распределения главных растягивающих напряжений в одном из многочисленных вариантов приведена на рис. 21.



*Рисунок 19.
Контейнер для зеркала М1*



*Рисунок 20.
ГЗУ для М1 с зеркалом,
установленным в контейнер*



*Рисунок 21.
Картина распределения главных
растягивающих напряжений.
Максимальный уровень напряжений – 3,3 МПа*

2. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ЗЕРКАЛА М2

В процессе работ по проекту DAG ведется изготовление зеркала М2 диаметром 764 мм из Астроситалла® СО-115М [9-10] (таблица 3), которое установлено в штатную оправу, разработанную фирмой AMOS в которой выполняется формообразование и контроль зеркала. Для контроля зеркала в основном рабочем положе-

нии был создан горизонтальный стенд, когда узел зеркала установлен оптической осью в горизонтальном направлении.

Отличительная особенность контроля зеркала с асферичностью 41 мкм - контроль с использованием двух сфер Хиндла. Если зеркало контролировать с одной сферой Хиндла, то ее диаметр должен был бы быть более 3 м. Поэтому для контроля зеркала М2 использо-

Таблица 3.
Параметры зеркала M2

Материал	Астроситалл СО-115М
Форма	Вып. гиперболоид
Внешний диаметр	764 мм
Световая апертура	712 мм
Толщина по центру	89.4 мм
Вершинный радиус кривизны	2725.760 ± 5 мм
Коническая константа	$-1,738819 \pm 0.001$
Экранирование	92 мм
Асферичность от ближайшей сферы	41 мкм

вались две ранее изготовленные сферы Хиндла, одна из них диаметром 1640 мм и радиусом кривизны 3997 мм, вторая диаметром 1985 мм и радиусом кривизны 2708,15 мм [11]. Центральная часть схемы контроля зеркала представлена на рис. 22, а стенд контроля на рис. 23. Сфера Хиндла 1: диаметр 1640 мм, R=3997 мм. Световая зона 310x1500 мм. Сфера Хиндла 2: диаметр 1985 мм, R=2708,15 мм. Световая зона 626x1711 мм. Размер зоны переналожения 86 мм. С первой сферой контролируется зона на детали от 92 мм до 445 мм, а со второй от 273 мм до 764 мм. Тем самым, имеем общую область перекрытия от 273 до 445 мм по диаметру, или кольцо с размером 86 мм. Для расчета суммарного волнового фронта методом переналожения [3,5] используются две серии интерферограмм для двух положений контролируемого зеркала с двумя сферами Хиндла. Размеры контролируемых зон и общая область перекрытия представлены на рис. 24.

Измерение вершинного радиуса и вычисление конической константы выполняется прямым методом с помощью лазерного трекера [12]. Замеряется величина второго фокуса и сумма двух фокусов при контроле зеркала в схеме Хиндла и из полученных значений вычисляются величины вершинного радиуса и конической константы.

Для зеркала M2 также изготовлено вспомогательное оборудование для приклейки интерферейсных элементов, грузозахватное устройство, контейнер.

На рис. 25 представлена принципиальная схема линейных измерений, необходимых для вычисления фактических значений R0 и K.

Элементы схем измерений (рис. 25):

- {pos 1, 5} – автоколлимационные устройства с объективом ($S'_{F'} = \text{constant}$);
- {pos2} – зеркало M2 (с установленным в отверстие имитатором вершины зеркала);
- {pos3} – сфера Хиндла 2 (рис.1, 2 для полной внешней апертуры);
- {pos4} – лазерный трекер.

Производится настройка интерференционной картины с использованием интерферометра Тваймана-Грина, который расположен в действительном фокусе гиперболоида, далее выполняется оценка качества рабочей поверхности. Значение размаха сферической аберрации (постоянная составляющая регулярных ошибок) является критерием правильной установки элементов стенда в направлении оптической оси.

Производится трансформация (замена) интерферометра в автоколлимационное устройство в позиции действительного фокуса гиперболоида. Производится настройка автоколлимационного устройства по минимуму изображения точечного источника света. Значения, снятые по нониусу шкалы для продольного (осевого) перемещения определяют границы случайной погрешности измерений.

Используя лазерный трекер, производится замер отрезка f_2 (значение отрезка включает дистанцию между центрами сферических марок трекера + 2 радиуса марок), значение которого с учетом поправки за счет стрелки прогиба на плоской площадке, установленной в центральное отверстие технологической пробки (имитатора вершины) определяет фактическое значение действительного фокального отрезка гиперболоида M2.

$$F_2 = f_2 - S'_{F'} \text{Down} - k$$

$S'_{F'} \text{Down}$ – задний фокальный отрезок объектива на позиции зеркала M2

k – стрелка прогиба

С учетом не исключенной систематической погрешности средств измерений, используемых при замере, фактическое значение отрезка F_2 :

$$F_2 = A \pm \Delta_{F_2}$$

где A – полученное значение отрезка с учетом цены деления средства измерения, Δ_{F_2} – границы общей (суммарной погрешности измерений).

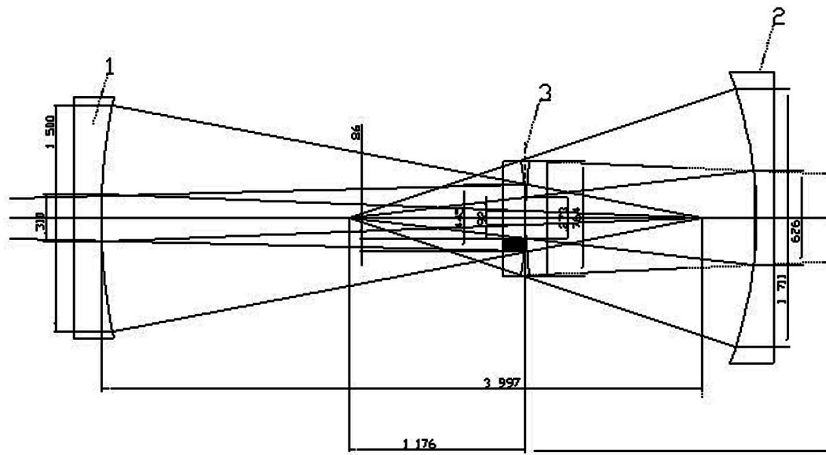


Рисунок 22.

Схема контроля зеркала M2 с двумя сферами Хиндла.

Сфера Хиндла 1: диаметр 1640 мм, R=3997 мм, световая апертура 310x1500 мм.

Сфера Хиндла 2: диаметр 1985 мм, R=2708,15 мм, световая апертура 626x1711 мм.

Размер зоны переналожения 86 мм

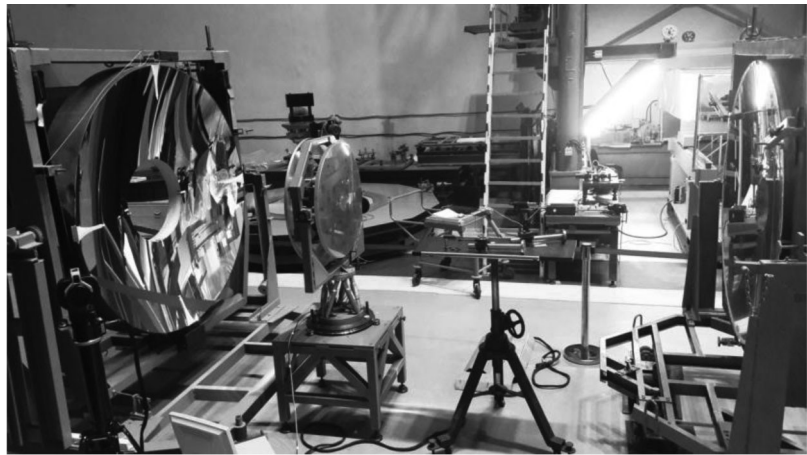


Рисунок 23.

Стенд контроля M2 с двумя сферами Хиндла

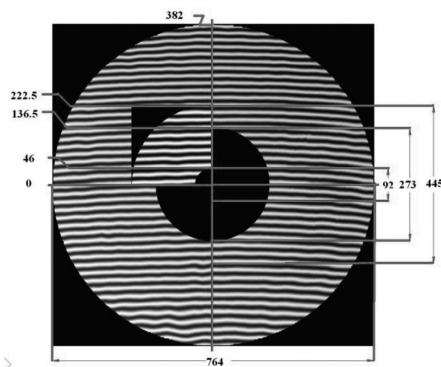


Рисунок 24.

Размеры контролируемых зон
и зона перекрытия

Зеркало M2 выводится из схемы. В центр кривизны сферы Хиндла устанавливается второе автоколлимационное устройство и производится его настройка аналогично (по минимуму изображения точечного источника). Используя лазерный трекер, производится замер отрезка l , значение которого (с учетом задних фокальных отрезков двух автоколлимационных устройств) определяет фактическое значение межфокусного расстояния гиперboloида M2.

$$L=l - S'_{F'}{}^{Up} - S'_{F'}{}^{Down}$$

$S'_{F'}{}^{Up}$ - задний фокальный отрезок объектива на позиции сферы Хиндла,

$S'_{F'}{}^{Down}$ - задний фокальный отрезок объектива на позиции зеркала M2.

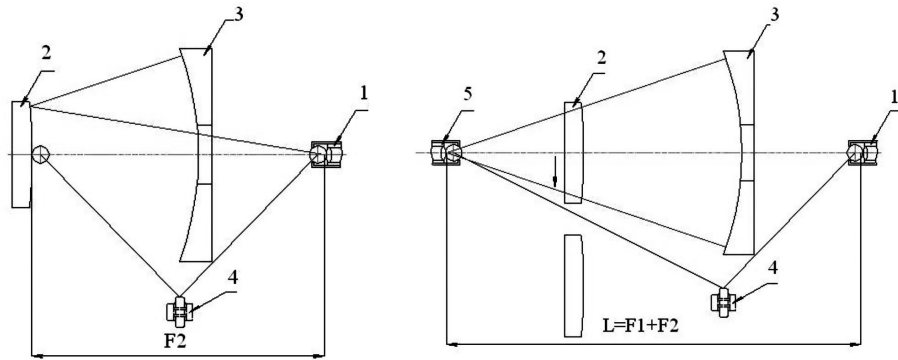


Рисунок 25.

Схема линейных измерений для вычисления R_0 и K

С учетом не исключенной систематической погрешности средств измерений, используемых при замере, фактическое значение отрезка L :

$$L = B \pm \Delta_L,$$

где B – полученное значение отрезка с учетом цены деления средства измерения, Δ_L – границы общей (суммарной погрешности измерений).

Следующие соотношения и формулы (с учетом правила простановки знаков “минус”)

$$L = F_1 - F_2$$

$$F_1 = \frac{R_0}{1+e} \quad \text{и} \quad F_2 = \frac{R_0}{1-e}$$

определяют значения R_0 и K ($-e^2$).

$$R_0 = f(L, F_2) = \frac{2F_2(L + F_2)}{L + 2F_2} \quad (1)$$

$$K = f(L, F_2) = -\left(\frac{L}{L + 2F_2}\right)^2 \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta L}\right)^2 \Delta_L^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta F_2}\right)^2 \Delta_{F_2}^2} \quad (3)$$

Формула (3) позволяет определить погрешность σ_{R_0} и σ_K по результатам измерения фактических значений L и F_2 , а также величин Δ_L и Δ_{F_2} . Используя (1), (2) и (3) получим следующие формулы:

$$\sigma_{R_0} = 2 / (L + 2F_2)^2 \times (F_2^4 \Delta_L^2 + [(L + F_2)^2 + F_2^2] \Delta_{F_2}^2)^{1/2} \quad (4)$$

будет обеспечена точность изготовления радиуса при вершине с погрешностью σ_{R_0} , которая потребует измерения L и f_2 с погрешностями Δ_L и Δ_{F_2} .

$$\sigma_K = 4L / (L + 2F_2)^3 \times (F_2^2 \Delta_L^2 + L^2 \Delta_{F_2}^2)^{1/2} \quad (5)$$

Так же, будет обеспечена точность изготовления конической константы с погрешностью σ_K , которая потребует измерения L и F_2 с погрешностями Δ_L и Δ_{F_2} .

3. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ЗЕРКАЛА МЗ

Третичное зеркало эллиптической формы с плоской рабочей поверхностью также из Астроситалла имеет размеры 890x648 мм. Оно обрабатывалось и контролировалось в штатной оправе AMOS в схеме Ричи-Коммона с эталонным сферическим зеркалом (рис. 26, 27). Для транспортировки узла зеркала также разработано ГЗУ (рис. 28), контейнер и т.д. Таким образом, узел зеркала (рис. 29) контролировался под двумя углами наклона к эталонному зеркалу и вычислялся итоговый волновой фронт зеркала при нормальном падении лучей.

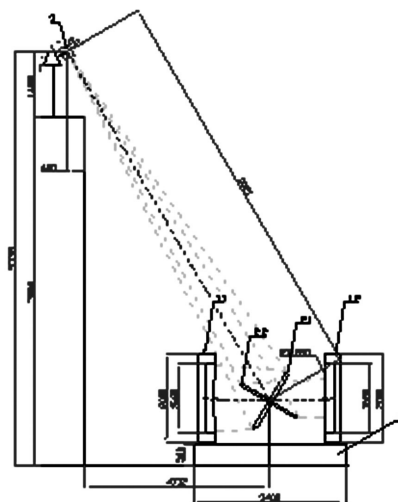


Рисунок 26.

Схема контроля зеркала МЗ



Рисунок 27.

Узел зеркала М3 в стенде контроля

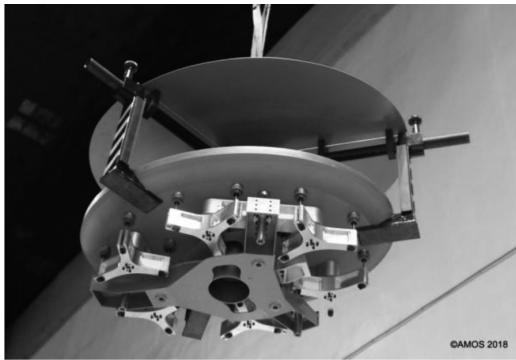


Рисунок 28.

Транспортировка узла М3 с использованием ГЗУ

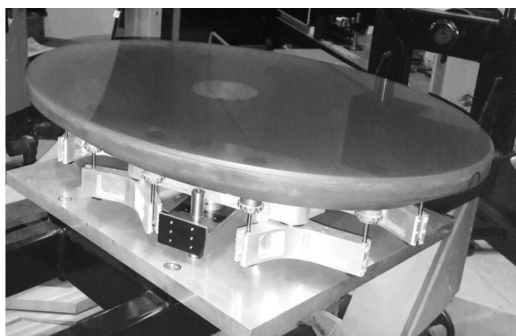


Рисунок 29.

Узел зеркала М3

Изготовление зеркала завершено. Также как и для зеркала М1 в соответствие со спецификацией необходимо выполнить условия по коэффициентам Цернике для волнового фронта. В таблице 4 представлены эти данные. Расчеты были сделаны для полной апертуры – 838x596 мм, результаты представлены в таблице 4. Среднеквадратичные значения (RMS) коэффициентов полиномов Цернике низкого порядка в нм на поверхности детали, в скобках даны требуемые значения.

Аналогичным образом вычислялись величины коэффициентов Цернике для субапертур на зеркале.

На рис. 30 приведены интерферограммы волнового фронта контроля зеркала под двумя углами падения главного луча. Слева около 30° и справа около 60°.

Обработка всех зеркал ведется с использованием автоматизированного комплекса по формообразованию поверхностей оптических деталей (рис. 31) [5,11,13,14]. Для контроля асферических поверхностей используются CGH корректоры волнового фронта.

5. CONCLUSION

ЛЗОС по контракту с фирмой AMOS выполняет работы по изготовлению комплекта оптики для телескопа обсерватории DAG (Doğu Anadolu Gözlemevi), который включает изготовление трех зеркал М1,М2,М3. Для всех зеркал разработаны методы формообразования и контроля поверхностей оптических деталей.

Главное зеркало диаметром 4 м из Zerodur базируется на мембранно-пневматической разгрузке. Для него разработан метод обработки и контроля формы поверхности с произвольной формой и с определением положения вершины асферической поверхности оптическим методом с помощью CGH корректора. Ведется финишное формообразование.

Таблица 4.

Среднеквадратичные значения (RMS) коэффициентов полиномов Цернике низкого порядка в нм на поверхности детали

Порядок 2	Порядок 3	Порядок 4	Порядок 5	Порядок 6	Порядок 7-11
Цернике 5-6	Цернике 7-10	Цернике 11-15	Цернике 16-21	Цернике 22-28	Цернике 29-78
2,1822 (7)	1,8587 (5.45)	3,0958 (5.7)	2,6151 (4..5)	1,7547 (3)	3,5044 (4.5)

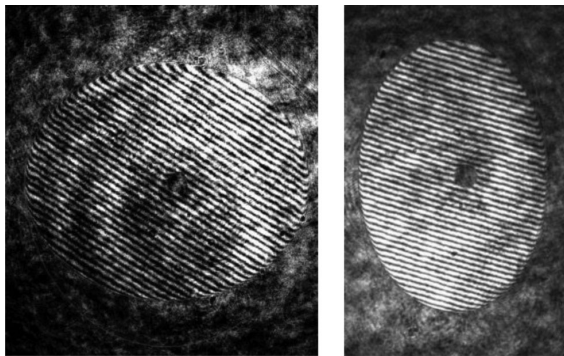


Рисунок 30.

Интерферограммы волнового фронта контроля зеркала под двумя углами падения главного луча. Слева около 30° и справа около 60°

Вторичное зеркало диаметром 764 мм из Астроситалла изготавливается в схеме с двумя сферами Хиндла и волновой фронт определяется методом переналожения двух волновых фронтов. Зеркало базируется на разгрузке AMOS. Ведется финишное формообразование.

Третичное зеркало размерами 890x648 мм из Астроситалла изготовлено. Оно контролировалось в схеме Ричи-Коммона под двумя углами относительно контрольного сферического зеркала. Зеркало базировалось на разгрузке AMOS.

References:

1. Sahmali A.E., Yesilyaprak C., Sinan K. Yerli S.K., Keskin O., "Observatory building design: a case study of DAG with infrastructure and facilities," Proc. SPIE 9911, 99112S-1 - 99112S-4 (2016).
2. Semenov A.P., Abdulkadyrov M.A., Patrikeev A.P., Patrikeev V.E., Pridnya V.V., "M1 and M2 mirror manufacturing for ARIES project: current status," Proc SPIE 7739, 773907 (2010).
3. Semenov, A.P., "Accomplished the task of production of the primary and secondary mirrors of Devasthal Optical Telescope under the project ARIES (India, Belgium, Russia): fabrication features," Proc SPIE, 8450, 84504R-1 – 84504R-14 (2012).
4. Semenov, A.P., Abdulkadyrov, M.A., Patrikeev, V.E., "Manufacturing methods of testing the large-size optics at the stage of grinding, aspherical surface centering and interface elements positioning the before gluing," Proc. SPIE 9912, 99123T-1 – 99123T-14, (2016).
5. Abdulkadyrov M.A., Belousov S.P., Ignatov A.N., Patrikeev V.E., Pridnya V.V., Polyanchikov, A.V., Rumyantsev V.V., Samuylov A.V., Semenov A.P., Sharov Y.A., "Manufacturing of primary mirrors from Sitall CO-115M for European projects TTL, NOA and VST," Proceedings of SPIE 4451, 131-137 (2001).
6. Poleshchuk, A.G., "Fabrication and application of

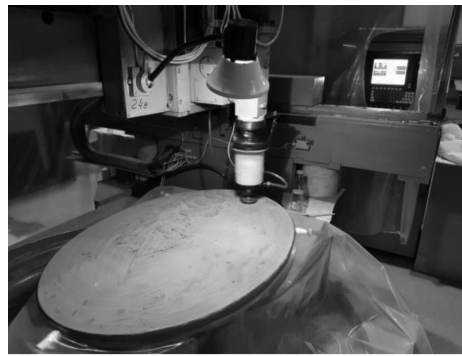


Рисунок 31.

Финишная доводка поверхности оптической детали на станке с программным управлением

diffractive optical elements," Proc. SPIE 7544, 75443L-1 -75443L-12 (2010).

7. Poleshchuk, A.G., "Computer generated holograms for aspheric optics testing," Proc. SPIE 7133, 713333-1-713333-9 (2009).

8. Poleshchuk, A.G., Korolkov, V. P., Nasyrov, R. K., Asfour, J.-M., "Computer generated holograms: fabrication and application for precision optical testing," Proc SPIE 7102, 710206 (2008).

9. Abdulkadyrov, M.A., Ignatov, A.N., Patrikeev, V.E., Semenov, A.P., Sharov, Y.A., «Astrositall application in astronomical and space optics production,» Proc SPIE, 8450, 84502L (2012).

10. Abdulkadyrov, M.A., Semenov, A.P., Patrikeev, A.P., Belousov, S.P., Ignatov, A.N., Patrikeev, V.E., "Studying the stability of Astrositall thermal and mechanical properties while manufacturing the astronomical and space mirrors," Proc. SPIE 9912, pp. 99123U-1 – 99123U-14 (2016).

11. Semenov A.P., Abdulkadyrov M.A., Belousov S.P., Ignatov A.N., Patrikeev V.E., Pridnya V.V., Polyanchikov A.V., Rumyantsev V.V., Samuylov A.V., Sharov Y.A., „Manufacturing of secondary mirrors from Sitall CO-115M for European projects TTL, NOA and VST, „ Proc SPIE 4451, 138-144 (2001).

12. Abdulkadyrov M.A., Patrikeev A.P., Belousov S.P., Pridnya V.V., Patrikeev V.E., Ignatov A.N., Polyanchikov A.V., Semenov A.P., Sharov Y.A., „M2 secondary mirror manufacturing for VISTA project,“ Proc SPIE 7018, 70180B (2008).

13. Semenov, A.P., Abdulkadyrov, M.A., Belousov, S.P., Patrikeev, V.E., Pridnya, V.V., "Methods of fabrication and testing of unique large size optics in LZOS, JSC (VST, VISTA and other projects)," Proc SPIE, 8450, 84504T-1 – 84504T-12 (2012).

14. Semenov, A.P., Abdulkadyrov, M.A., Patrikeev, V.E., "Production of off-axis high asphericity large-size astronomical mirrors," Proc. SPIE 9683, 68314-1 – 968314-9 (2016).

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ «КАРКАСА» ДЛЯ КИСЛОРОДНОЙ МАСКИ КМ-36

ШАПОВАЛОВ М.В., ЛИТВИНОВ С.А.

ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

3-я научная рота Космических войск Воздушно-космических сил РФ

E-mail: mvs93@mail.ru



Шаповалов М.В.

Аннотация: В данной работе показана конструкция спроектированной автоматической пресс-формы для изготовления «каркаса», в который укомплектовывается кислородная маска летчика КМ-36. Приведен анализ изделия.

Ключевые слова: автоматическая пресс-форма, литье под давлением, проектирование, термопластичный материал, анализ технологического уклона, тепловой баланс, отливка, формообразование.

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF AUTOMATIC MOLD FOR MAKING A «KARKAS» FOR AN OXYGEN MASK KM-36

SHAPOVALOV M.V., LITVINOV S.A.

PJSC "Krasnogorskiy Zavod named S.A. Zverev"

3-rd Scientific Company of the Space Forces of the Air and Space Forces of the Russian Federation

E-mail: mvs93@mail.ru

Abstract: In this work is shown a projected automatic mold for making a «karkas», in which the oxygen mask of the pilot «KM-36» is completed, analysis of the.

Keywords: automatic mold, injection molding, design, thermoplastic material, analysis of technological bias, heat balance, molding, shaping.

В современном мире, применение пластмасс в авиационной промышленности являются наиболее распространенным. В большинстве случаев пластмассы используют как самостоятельный конструкционный материал, кроме того они являются заменителем дорогостоящих материалов. В этой связи все большее значение приобретает один из важнейших элементов производства изделий из пластиков – технологическая оснастка. Именно в пресс-формах и формах для литья под давлением достигается требуемая форма и необходимые размеры изделия из пластмасс, с учетом их технологических свойств [1-3].

Конструкция пластмассового изделия существенно влияет на конструкцию пресс-формы и качественные показатели изделия, которые в свою очередь, зависят от технологии его изготовления, так и от конструкции [7]. Современное компьютерное моделирование позволяет конструировать изделия одновременно с анализом его технологичности.

Исходными данными для проектирования автоматической пресс-формы стало ТЗ на изготовление изделия «каркас» и чертеж (рис. 1).

Цель работы заключается в получении отливки из термопластичного материала с заданной конфигурацией и параметрами точности формы, контроль за осуществлением её сборки и пуско-наладки на термопластавтомате.

Изделие «каркас» предназначен для укладки укомплектованной кислородной маски летчика «КМ-36» (рис. 2).

Кислородная маска членов экипажа служит для защиты летчика от кислородного голодания при полетах на больших высотах в течении длительного времени, под воздействием разнонаправленных перегрузок, обеспечения жизнедеятельности летчика в случае аварийной разгерметизации кабины самолета, защиты органов дыхания от воздействия дыма и токсических газов, выделяющихся при пожаре и других видах техногенных катастроф.

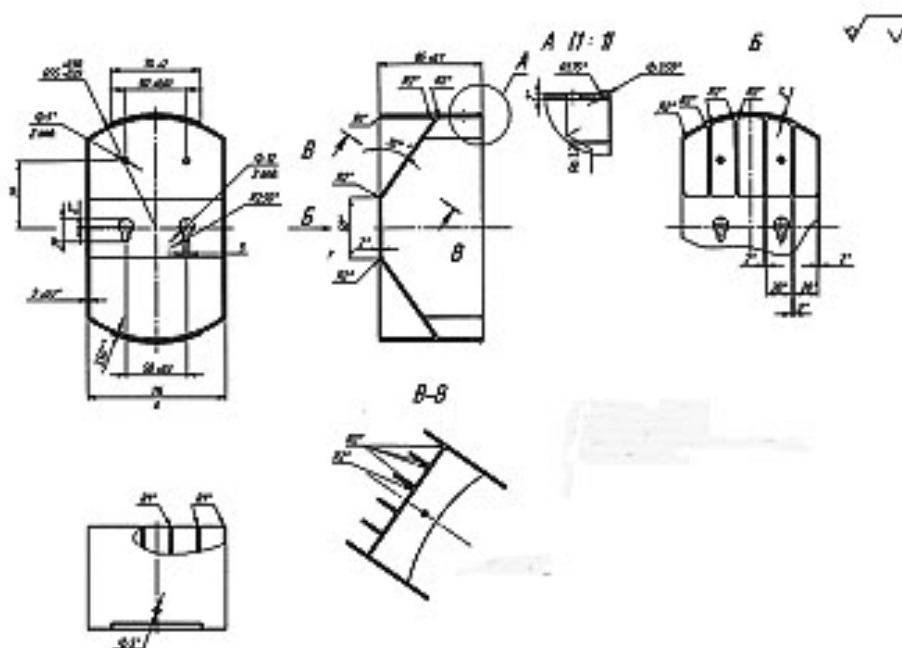


Рисунок 1.

Чертеж изделия «каркас» для которого проектируется автоматическая пресс-форма



Рисунок 2.
*Кислородная маска летчика,
с защитным шлемом ЗШ-10*

Кислородная маска оснащенная всеми системами укладывается во внутреннюю полость «каркаса» и плотно закрывается защитной крышкой. Укомплектованное изделие готово к дальнейшей транспортировке, и с помощью специальных креплений на корпусе устанавливают в кабину самолета.

Для создания и анализа автоматической пресс-формы использовался программный продукт математического моделирования Solid Works, с помощью которого была воспроизведена 3-х мерная модель «каркаса» показанного на рис. 3.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ФОРМЫ

Изделие относится к монолитным деталям и полностью состоит из одного вида полимера–

полиамид 610, который представляет продукт поликонденсации соли СГ (соли гексаметилендиамина и себаценовой кислоты) [10]. Серийность производства существенно влияет на метод получения изделия.

Для данного изделия оптимальным методом изготовления является литье под давлением в пресс-форму. Литье под давлением– один из наиболее распространенных методов переработки пластмасс, состоящий в заполнении оформляющей полости формы через литниковый канал расплавом полимерного материала с последующим его уплотнением и фиксацией формы, за счет охлаждения или протекания химической реакции отверждения (вулканизации). Этим методом перерабатывают практически все термопластичные материалы, термореактивные материалы (пресс-порошки и гранулят) и большинство марок резиновых смесей [7,10].

При конструировании пластмассовых изделий стремятся к обеспечению рациональных условий течения материала в форме, повышению точности изготовления, уменьшению внутренних напряжений, коробления, цикла изготовления [8,11].

Конфигурация изделия имеет внутренние и наружные полости, что требует от пресс-формы дополнительных формообразующих элементов, подвижных частей и других деталей, что существенно усложняет процесс проектирования пресс-формы.

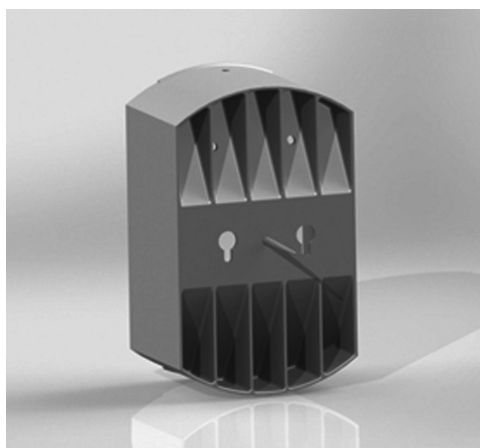


Рисунок 3.
3-D модель деталей «Каркаса» изготавливаемых пресс-формой

Геометрическая форма готового изделия, качество поверхности и размеры отлитых в пресс-форме изделий должны соответствовать заданным на чертеже. Исходя из технического задания, необходимо, чтобы в отлитом изделии были оптимально сохранены физико-механические свойства исходного материала с минимальными остаточными напряжениями. Изделия не должны подвергаться дополнительной обработке, за исключением отделения литника и зачистки его следов (при необходимости).

Также необходимо создать условия наиболее благоприятных для равномерной усадки «каркаса». Работа литьевой формы должна быть автоматизирована, долговечна, надёжна и безопасна, а себестоимость изделия минимальна.

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

При конструировании пресс-формы было определено место подвода литника [рис. 3], положение выталкивателей, возможное расположение следов от вставок и расположение линии разъема формообразующих элементов. Расположение впускного литникового канала влияет на характер течения расплава в форме, на внутренние напряжения, образование спаев в изделии, следы течения на поверхности изделия, на усадку, деформацию изделия при высоких температурах, прочность изделия [3, 8]. Внутренние напряжения обычно наи-

более значительны в области впуска, поэтому место впуска в изделии наиболее опасно и подвержено растрескиванию или разрушению[10]. Расположение линий спаев зависит от местонахождения впуска, толщины и сложности конфигурации детали. При неправильном расположении впуска может произойти искажение формы отливки. Необходимо создавать условия для параллельного течения полимера в оформляющей полости.

Для обеспечения свободного извлечения отливки из формы на внешней и внутренней поверхности изделия, ребрах, отверстиях были предусмотрены технологические уклоны в 0,5-1 градус. Исходя из требований, предъявляемых к пластмассовым изделиям, уклоны внутренних поверхностей и отверстий выполнены больше уклонов наружных поверхностей, так как при раскрытии формы внутренние поверхности за счет усадки обжимают оформляющие элементы, а наружные, наоборот, отходят от стенок формы и меньше препятствуют удалению отливки [10].

В данной работе были определены необходимые характеристики для проектирования пресс-формы. По расчетным параметрам было подобрано оборудование термопласт автомат KuASY 630/160, которое удовлетворяет всем условиям для проведения процесса литья под давлением в пресс-форму. В таблице 1 представлены расчетные характеристики формы и параметры литьевой машины.

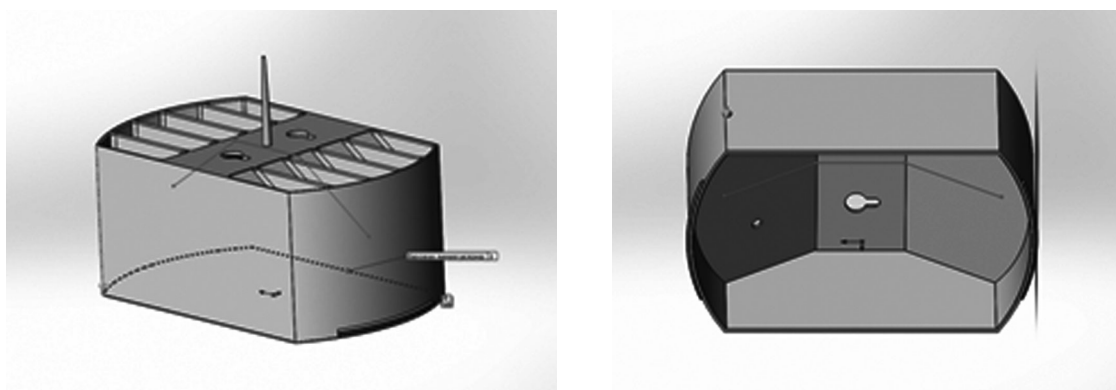


Рисунок 4.

Проведение анализа технологического уклона.

Зеленая поверхность – положительный уклон; желтая – нейтральный уклон; красная – отрицательный уклон (поверхностное пересечение)

Таблица 1.

Расчетные характеристики формы и параметры подобранной литьевой машины

п/п	Характеристика формы		Параметр литьевой машины KuASY 630/160	
	Обозначение	Величина	Обозначение	Величина
1	$V_0, \text{см}^3$	215,8	$V_0, \text{см}^3$	407
2	$h, \text{мм}$	395,5	$(H_{\min}-H_{\max}), \text{мм}$	100-400
3	$s, \text{мм}$	275,9	$S, \text{мм}$	400
4	$P_{\text{л}}, \text{МПа}$	120	$P_{\text{л}}, \text{МПа}$	161
5	$\tau_{\text{впр}}, \text{с}$	2,5	$A, \text{кг/с}$	0,34
6	$\tau_{\text{см}}, \text{с}$	9	$F, \text{кН}$	1700
7	$\tau_{\text{разм}}, \text{с}$	9		

Из проведенного анализа таблицы, можно увидеть что условия соблюдения соотношений между параметром формы и литьевой машины выполняются. Соответственно проектируемая литьевая форма подходит для установки на выбранный термопластавтомат.

Как и любое оборудование, все элементы пресс-формы подлежали прочностному расчету с учетом свойств материалов деталей (таблица 2).

Выбор материала осуществляется с учётом ответственности и технологичности изготовления элемента пресс-формы. Основное условие для расчета на прочность поверхности формообразующей матрицы – давление смыкания не должно превышать предельно допустимое напряжение на сжатие. [4]

$$P_{\text{см}} \leq [\sigma_{\text{сж}}], \quad (1)$$

Затем определяются исполнительные размеры формообразующих элементов, а именно определение возможности изготовления изделия с заданной точностью.

Исполнительные размеры формообразующих элементов назначают в зависимости от допуска на размеры изделия и усадки формового материала (берется среднее значение). Методика расчета гладких формообразующих элементов в соответствии с ГОСТ 15947-70.

После проведения необходимых расчетов, была спроектирована автоматическая пресс-форма (рис. 5, рис. 6, рис. 7) для изготовления изделия «каркас». Время полного цикла изготовления одного изделия составило 32 секунды.

Таблица 2.

Материалы деталей, применяемых в пресс-форме

Материал	Детали
Сталь 45	Фланец передний, фланец задний, плита толкателей, брус опорный, толкатели.
Сталь 40X13	Матрица, обойма матрицы, пуансон, детали оформляющих знаков, плита толкания, диск передний, диск задний, втулка литниковая.
Сталь У8А	Направляющие колонки, направляющие втулки, зацеп.
Сталь 12X18Н10Т	Салазки, пластины.
Медь М3	Штуцера, система охлаждения.

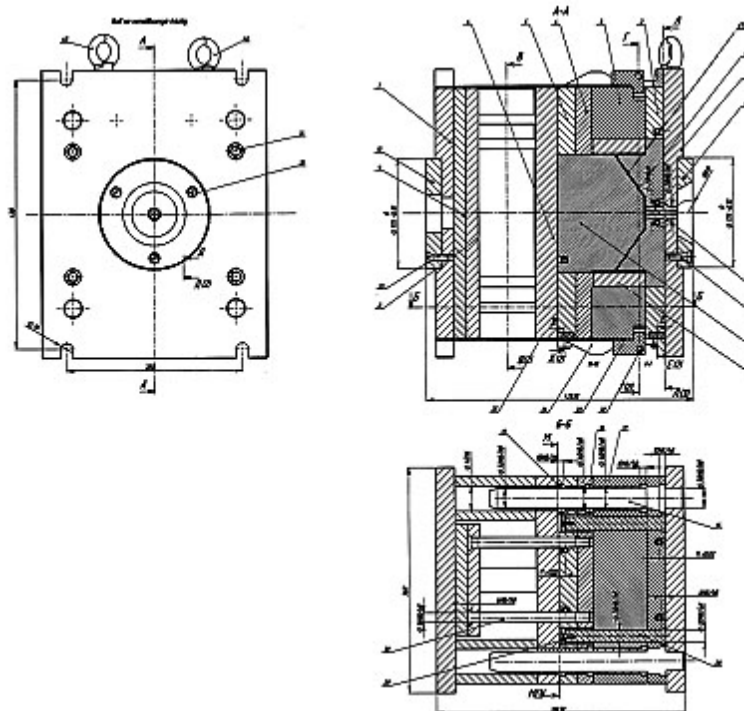


Рисунок 5.

Сборочный чертеж автоматической пресс-формы для изделия «каркас»

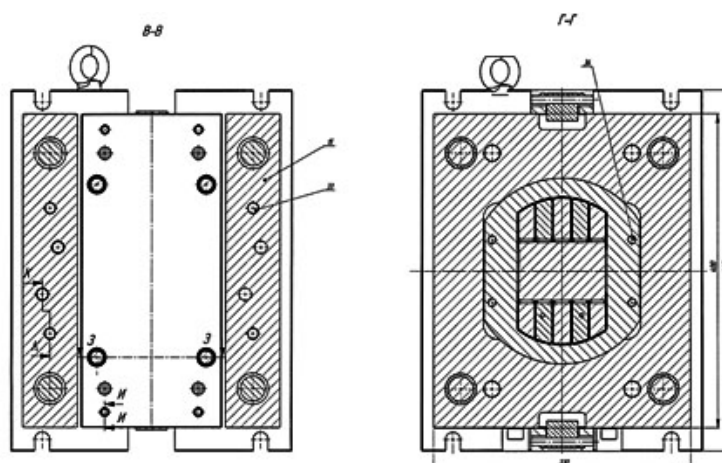


Рисунок 6.

Сборочный чертеж. Вид на систему плит толкания, матрицу «каркас»

Назначение системы охлаждения и регулирования температуры литевых полуформ состоит в обеспечении равномерного, быстрого и одновременного окончания охлаждения изделия с наружной и внутренней стороны и по всей площади. Это достигается за счет поддержания температуры стенок полуформ с помощью системы каналов, расположенных в деталях формы, в которых течет охлаждающая жидкость, отбирающая от стенок формы теплоту, вносимую расплавом.

Одновременное окончание охлаждения изделия по всей площади частично устраняет причины, вызывающие коробление изделия, и создает условия для сохранения его геометрической формы и размеров в заданных пределах. Система охлаждения должна обеспечивать снижение среднемассовой температуры изделия к моменту извлечения его из формы до такой величины, при которой сталкивание изделия осуществляется без его механического повреждения.

При проектировании пресс-формы учитывались условия теплообмена термопластов [11]. Литьевая форма для обработки термопластичных полимеров должна обеспечить отвод как можно большего количества тепла.

Тепловой поток, поступающий в форму (считается положительным), и тепловой поток, отводимый из формы (считается отрицательным), должны находиться в равновесии. Спроектированная система охлаждения верхней и нижней полуматрицы пресс-формы изображена на рис. 7.

Разомкнутый вид спроектированной автоматической пресс-формы для изготовления заданных изделий показана на рис. 8. Литьевая форма состоит из 132 деталей. Без учета ремонта литьевой формы, можно получить более 100 тыс. изделий.

На рис. 9 показан процесс раскрытия литевой формы. Исходное положение: форма сомкнутая. Материал впрыскивается в форму через литниковую втулку, далее по центральному каналу материал попадает через впускной канал в оформляющую полость, образывае-

мой пуансоном и матрицей. Затем расплав охлаждается до температуры формоустойчивости при помощи системы термостатирования, состоящей из каналов, по которым курсирует охлаждающая жидкость. После достижения температуры формоустойчивости, происходит размыкание формы ступенчатое размыкание формы. С помощью гидро-системы машины отводится подвижная часть формы. При раскрытии формы обойма матрицы удерживается зацепами. Штифт, который установлен в зацепах скользит по салазкам и отводит подвижную часть формы. Зацеп выходит из зацепления, при этом обойма останавливается тягами. Дальнейшее раскрытие литевой формы происходит по второй плоскости разъема. Изделие вместе с литником остается на знаке. Подвижная часть формы продолжает движение, наезжая на центральный толкатель машины, и производится сброс изделия плитой съема. Изделие падает в поддон. После чего происходит смыкание формы.

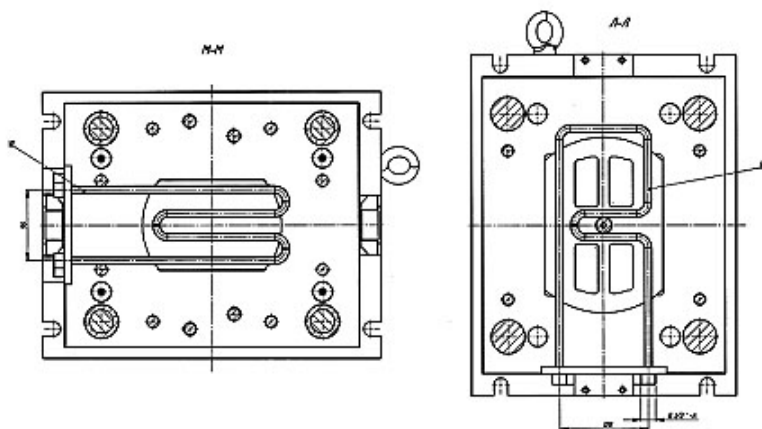


Рисунок 7.

Сборочный чертеж. Вид на верхнюю и нижнюю часть системы охлаждения

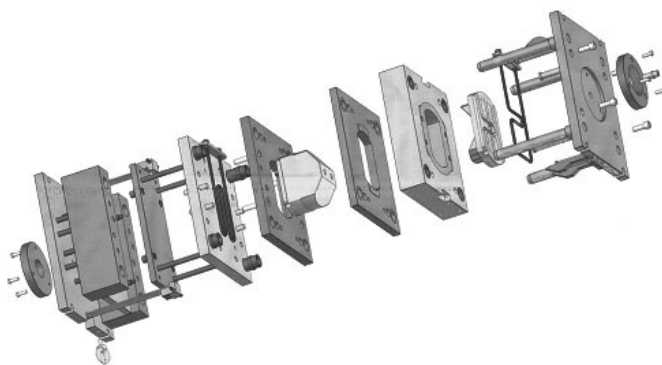


Рисунок 8.

Разомкнутый вид автоматической пресс-формы для изделия «каркас»

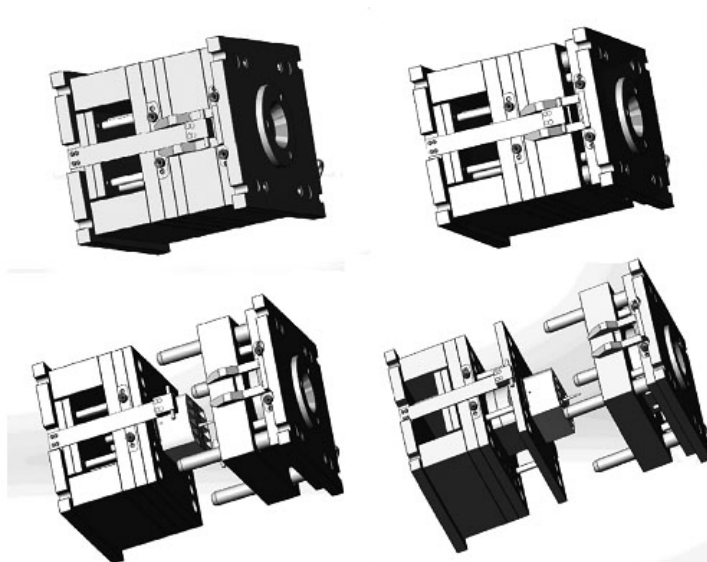


Рисунок 9.

Раскрытие полуавтоматической пресс-формы

ВЫВОДЫ

При проектировании автоматических пресс-форм, необходимо учитывать множество нюансов, чтобы на выходе изделия получались без дефектов. Одним из важных нюансов является обеспечение достаточного отвода тепла от формообразующих элементов пресс-формы, и как следствие достаточного охлаждения пресс-формы в целом. Это влияет на остаточные напряжения в изделии, что впоследствии сказывается на её долговечность. Немаловажным моментом является место подвода литника в изделии, положение выталкивателей, следов от вставок и расположение линии разъема формообразующих элементов. Расположение впускного литникового канала влияет на характер течения расплава в форме, на внутренние напряжения, образование спаев в изделии, следы течения на поверхности изделия и на усадку.

Важно учитывать конфигурацию пластмассового изделия. Она существенно влияет на конструкцию формы (зависящую от технологичности изделия) и качественные показатели изделия, которые, в свою очередь, зависят как от технологии его изготовления, так и от его конструкции. Необходимо учитывать, что в ряде случаев ошибки, заложенные при разработке изделия, невозможно исправить выбором конструкции формы. При конструировании пластмассовых изделий необходимо стремиться к обеспечению рациональных условий течения материала в форме, повышению точности изготовления, уменьшению внутренних напряжений, коробления и цикла изготовления.

Список литературы:

1. *Пантелеев А.П., Шевцов Ю.Н., Горячев И.А.* Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс. -М: Машиностроение, 1986,400 стр.
2. *Казанков Ю.В.* Курс лекций по дисциплине «Технические и компьютерные основы проектирования формующего инструмента». М.: 2003.
3. *Казанков Ю.В., Миронов В.А., Макаров М.С.* Расчет и конструирование формующего инструмента. / МИХМ-М., 1986.- 84 стр.
4. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя, 1980, 728 стр.
5. ОСТ 180063-73 «Детали из пластмасс. Технические требования».
6. ГОСТ 15947-70 «Детали формообразующие гладкие для формования изделий из пластмасс. Метод расчета исполнительных размеров».
7. *Видгоф Н.Б.* Основы конструирования литевых форм для термопластов.— М.: Машиностроение, 1979, 264 стр.
8. *Видгоф Н.Б.* Новые направления в конструировании форм для литья термопластов. Киев, Инст. технической информации, 1962, 48 стр.
9. *Демин Е.Н.* Справочник по прессформам. Лениздат, 1967, 368 стр.
10. *Сагалаев Г.В., Абрамов В.В., Кулезнев В.Н., Власов С.В.* Справочник по технологии изделий из пластмасс. М.: Химия, 2000, 424 стр.М.А.
11. *Дубов К.Х., Шнейдерман М.А. Гречушкин Г.И.* Технологическая оснастка для переработки термопластов: Отраслевой каталог. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1983, 383 стр.

ДЕЙСТВИТЕЛЬНОМУ ЧЛЕНУ АКАДЕМИИ «КОНТЕНАНТ» ПАВЛУ ВАСИЛЬЕВИЧУ ФИНОГЕНОВУ – 100 ЛЕТ



Павлу Васильевичу Финогенову, бывшему министру оборонной промышленности СССР, Герою Социалистического Труда, лауреату Ленинской и Государственной премий, 28 февраля 2019 года исполняется 100 лет. Он сменил министра оборонной промышленности СССР Зверева Сергея Алексеевича.

Павел Васильевич Финогенов родился в деревне Фомино Бетаницкого района Псковской области в крестьянской семье. После смерти отца с 1926 года жил в Ленинграде в семье дяди, брата отца. После успешного окончания средней школы в 1937 году поступил в Ленинградский военно-механический институт. Война прервала учебу. В июне 1941 года он вместе с другими студентами был направлен на работу в город Ковров на завод им. В.А.Дегтярева. Специалистов тогда не хватало, бывшие студенты получили инженерные должности.

Перед заводом стояли сложные задачи по многократному увеличению выпуска боевой техники, так нужной фронту. Квалифицированные кадры были на вес золота. Павел Васильевич приступил к работе с полной отдачей сил. Он сразу же влился в трудовой коллектив. Глубокие теоретические знания, целеустремленность и организованность Финогенова были замечены. В течение года он прошел ступени ответственных должностей: сменного мастера, старшего мастера, заместителя начальника цеха. В мае 1942 года молодому специалисту доверили возглавить крупнейший цех по выпуску вооружения для авиационной промышленности.

Работа на заводе в суровых условиях военного времени помогла становлению Финогенова как крупного руководителя, закалила характер, выработала умение решать сложные технические проблемы, сочетать теорию с требованиями производства, глубоко понимать людей и опираться на их знания и опыт. Его труд получил высокую оценку. В 1944 году Павел Васильевич награжден орденом Красной Звезды.

С 1946 по 1953 годы П.Финогенов работает начальником производства, заместителем главного инженера. Только после войны нашлось у него время продолжить занятия в Ленинградском военно-механическом институте. Учился Павел Васильевич без отрыва от производства и в 1953 году успешно защитил диплом, получив специальность инженера-механика. В том же году он назначен главным инженером завода.

Министерство ценит опытного специалиста. В 1954 году Павлу Васильевичу доверяют руководство заводом. На посту директора Финогенов проявил себя выдающимся организатором, умелым руководителем большого производственного коллектива.

На заводе в те годы провели большую реконструкцию производства, успешно внедрили новые виды оборудования и передовые технологические процессы.

Вклад Павла Васильевича в создание инфраструктуры города впоследствии отмечен присвоением ему звания почетного гражданина Коврова.

С 1960 года П.Финогенов работает заместителем председателя Владимирского Совета народного хозяйства. Опираясь на свой огромный опыт организации труда, он вносит большой вклад в развитие многих отраслей промышленности Владимирской области.

В 1963 году П.Финогенова переводят в Москву на должность начальника главного управления, члена Государственного комитета (Совета Министров СССР) по оборонной технике. С 1965 по 1973 год он работает заместителем министра оборонной промышленности СССР.

Яркой страницей в деятельности П.Финогенова стала его работа в должности первого заместителя министра оборонной промышленности СССР (1973-1979 годы). Под руководством министра оборонной промышленности Сергея Алексеевича Зверева, крупного организатора промышленности, деятеля большого государственного масштаба, Павел Васильевич Финогенов выполнял решающую функцию в системе управления отраслью. Он был единомышленником и надежной опорой министра в решении всех многогранных задач, стоящих перед министерством как сложной управленческой структурой.

В феврале 1979 года Павел Васильевич Финогенов назначен министром оборонной промышленности, членом правительства СССР. Это назначение было позитивно воспринято всеми директорами предприятий и организаций отрасли, коллективом министерства как естественная преемственность в руководстве важнейшей отрасли промышленности страны. В течение 10 лет П.Финогенов успешно выполнял сложные и ответственные обязанности министра. В полной мере были востребованы его обширные знания и богатый опыт, творческая энергия и твердая воля. Павел Васильевич пользовался высоким авторитетом и большим уважением всех, с кем работал и общался в этот период.

Наряду со сложными проблемами отрасли, Павел Васильевич уделял огромное внимание подбору, расстановке и воспитанию кадров отрасли на всех уровнях. Он оказывал действенную помощь высшим и средним учебным заведениям, готовившим специалистов для отрасли, профессионально-техническим училищам по подготовке квалифицированных рабочих.

Его работа заслуженно отмечена высокими государственными наградами.

Он награжден медалью Героя Социалистического Труда, двумя орденами Ленина, орденом Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, Красной Звезды и орденом «Знак Почета» и «Заслуги перед Отечеством» III степени.

Ему присуждена Ленинская премия, две государственные премии СССР.

Общественным признанием заслуг Павла Васильевича является его неоднократное избрание депутатом Верховного Совета СССР, членом КПСС.

Академия «Контенант» чтит память о Почетном члене Павле Васильевиче Финогенове.



место погребения на Троекуровском кладбище

Редакция



Уважаемые коллеги!
Оргкомитет и Организаторы

**МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ НАЗЕМНОГО
И КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ»**

приглашают Вас принять участие
в Международной научно-технической конференции
«Оптико-электронные комплексы наземного и космического базирования»,
которая состоится 17-18 октября 2019 г., в г. Лыткарино,
в АО «Лыткаринский завод оптического стекла» (АО ЛЗОС)
ул. Парковая, дом 1

Целью конференции является обсуждение новейших научно-технических достижений и технологий в области проектирования, изготовления и эксплуатации оптико-электронных комплексов наземного и космического назначения, современное состояние данных комплексов, перспективы дальнейшего развития, обмен опытом, развитие взаимных связей с партнерами из стран СНГ и с зарубежными фирмами.

Конференция также посвящена 80- летию юбилею «Лыткаринского завода оптического стекла» - ведущему предприятию России в изготовлении оптических материалов и оптических систем различного назначения.

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

Лыткаринский завод оптического стекла (г. Лыткарино, Московской области, ул. Парковая, дом 1)
www.lzos.ru E-mail: info@lzos.ru; lastro@lzos.ru

Научно-техническая академия «Контенант» (г. Красногорск)
www.contenant.ru; book@contenant.ru

НА НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ БУДУТ РАБОТАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ СЕКЦИИ:

Секция №1

Разработка конструкций оптико-электронных приборов и комплексов

Секция №2

Материалы для изготовления прецизионных оптических элементов

Секция №3

Технологии изготовления, контроля оптических элементов, сборки, юстировки
и испытаний оптико-электронных приборов

*Статьи авторов,
подготовленные в соответствии с требованиями, изложенными
на сайте www.contenant.ru в разделе «Научно-технический журнал» - «Правила для авторов»,
будут опубликованы в журнале «Контенант» с размещением в РИНЦ или без него.*

РЕГЛАМЕНТ И ТЕМАТИКА НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ:

- 16 октября (среда) заезд гостей конференции, заселение в гостиницы.
- 17 октября (четверг) 2019 г. заезд и регистрация участников 8.30-9.30 в холле административного корпуса АО ЛЗОС (ул. Парковая, дом 1, г. Лыткарино)
торжественное открытие конференции 9.30;
- 17 октября (четверг) 2019 г. - время заседаний 10.00- 19.00;
- 18 октября (пятница) 2019 г. - время заседаний 10.00 - 19.00, закрытие конференции.

УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ С ДОКЛАДОМ:

Для выступления на конференции с докладом следует прислать:

- до 1 июля 2019 г. заявку с названием доклада, фамилиями авторов и названием организации на русском и английском языках по адресу e-mail: lastro@lzos.ru;
- до 30 августа 2019 г. (deadline) тезисы доклада объемом от 2-х и до 10-ти страниц на русском языке и от 1-ой и до 3-х страниц на английском языке по адресу e-mail: lastro@lzos.ru. Тезисы докладов оформляются в электронном виде на формате А4 с полями 25 мм -слева, 20 мм - сверху и снизу, 15 мм-справа, шрифт Times New Roman, размер 14, только расширением .DOC.

Программным комитетом будет осуществлен отбор докладов на конференцию до 01 сентября 2019 г.

В программе конференции предусмотрены пленарные, секционные и стендовые доклады.

Приглашения для выступлений будут высланы не позднее **10 сентября 2019 г.**

Подробная информация будет размещена на сайте ЛЗОС (www.lzos.ru).

УЧАСТИЕ В КОНФЕРЕНЦИИ БЕЗ ДОКЛАДА:

Для регистрации в качестве участника конференции без доклада следует **до 1 июля 2019 г.** прислать заявку по электронной почте lastro@lzos.ru. Форму заявки и подробную информацию о прошедших ранее конференциях можно найти на сайте <http://content.ru>.

Программа конференции постепенно (по мере поступления докладов) будет публиковаться на сайте ЛЗОС и в конечном виде будет представлена и разослана всем участникам конференции **10 сентября 2019 г.**

**В Программный комитет
конференции «Оптико-электронные комплексы
наземного и космического базирования»**

Заявка на участие в Конференции

Наименование организации _____

Количество участников _____

Количество докладов _____

№	ФИО участника (полностью)	Должность участника	E-mail участника	Контактный телефон

Индекс, почтовый адрес организации _____

Телефон организации _____ Факс _____

E-mail _____

**В Программный комитет
конференции «Оптико-электронные комплексы
наземного и космического базирования»**

Заявка на доклад
(для каждого участника)

Фамилия, имя, отчество докладчика	
Фамилия, имя, отчество автора (соавторов)	
Название тезисов доклада	
Доклад пленарный/секционный	
Номер секции	
Количество страниц тезисов	
Место работы докладчика	
Должность докладчика	
Ученая степень, ученое звание докладчика	
Почтовый адрес (с индексом)	
Телефон домашний	
Телефон мобильный	
Факс	
E-mail	

Председатель
Организационного комитета
Международной конференции -
Президент академии «Контенант»

Попов С.В.
Сеник Б.Н.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕЗИСОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ

1. К публикации принимаются тезисы объемом не более 2 страниц формата А4, включая вставленные рисунки.
2. Текст тезисов должен быть выполнен в редакторе Microsoft Word, шрифтом Times New Roman, межстрочный интервал – одинарный, выравнивание по ширине, красная строка 1,25 см, ориентация листа – книжная, поля по 2 см, кегель 14, иллюстрации в формате JPG
3. Тезисы публикуются в авторской редакции после утверждения Программным комитетом
4. Образец оформления заголовка тезисов:

Размерная стабильность зеркал из титановых сплавов
[1 пустая строка]

Иванов И.И., Петров П.П.

ОАО «Российские космические системы», г. Москва

aaaleks@online.ru

[1 пустая строка]

Текст тезисов.....