

**ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОСНОВНЫХ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПОСТРОЕНИЯ
ТЕПЛОВИЗИОННЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ БТТ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТОК
ОАО «ШВАБЕ - ПРИБОРЫ» И ОАО «ШВАБЕ – ОБОРОНА И ЗАЩИТА»**

Коронин Ю.Н., Касаткин И.В.

ОАО «Швабе – Приборы» (г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 179а)

E-mail: post@tochpribor.com

В статье представлен краткий исторический обзор эволюции основных конструктивных решений ОАО «Швабе – Приборы» и ОАО «Швабе – Оборона и Защита» в области построения тепловизионных каналов для объектов БТТ. Приведены материалы об использовании и постепенном внедрении новых типов схем сканирования, а также перспективных фотоприемных устройств.

Ключевые слова: фотоприемное устройство, поле зрения, тепловизионный канал, сканирование, обнаружение/распознавание.

**HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF BASIC CIRCUIT SOLUTIONS CONSTRUCTING
THERMAL CHANNELS FOR ARMOR PIECES BY EXAMPLE OF DEVELOPMENT
OF JSC «SHVABE – DEVICES» AND JSC «SHVABE – DEFENSE AND PROTECTION»**

Koronin Yu.N., Kasatkin I.V.

JSC "Shvabe-Devices". (Dusi Kovalchuk st., 179a, Novosibirsk)

E-mail: post@tochpribor.com

A historical overview the development of design solutions JSC «SHVABE – DEVICES» and JSC «SHVABE – DEFENSE AND PROTECTION» in the field of building thermal channels for armored vehicle is presented. The information about gradual introduction of new types of scanning schemes, as well as modern photodetectors are given.

Keywords: photodetector, field of view, thermal channel, scanning, detection/recognition.

Введение

В настоящее время тепловизионные каналы и приборы на их основе активно используются на объектах БТТ большинства стран мира. Стремительное развитие технологии последних лет значительно расширило номенклатуру предлагаемой элементной базы данного типа приборов и, как следствие, сделало возможным широкую вариативность предлагаемых разработчиками схемотехнических решений. В этих условиях становится интересным проследить эволюцию технических принципов построения тепловизионных каналов для объектов БТТ, начиная с середины XX века на примере разработок ОАО «Швабе – Приборы» и ОАО «Швабе – Оборона и Защита».

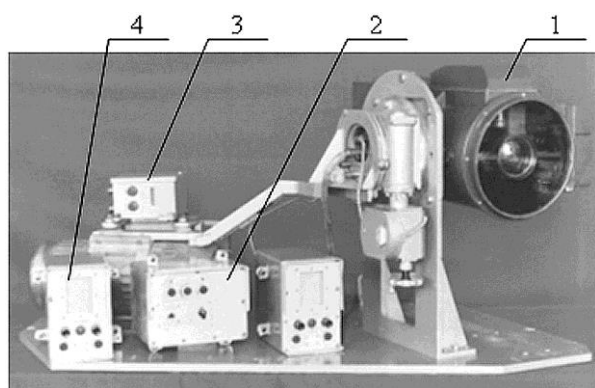
Прибор 1ПН59. Первые попытки внедрить на Новосибирском приборостроительном заводе (ныне ОАО «Швабе – Оборона и Защита») работы по тепловизионной тематике были предприняты головным институтом НИИПФ (г. Москва) в рамках НИР «Вечер» и НИР «Вечер-2» в 1967...1969 г.г. Тогда это был прибор с одноэлементным приёмником и с усилителями на пальчиковых лампах.

Работы по тепловизионной тематике в «ЦКБ «Точприбор» (ныне ОАО «Швабе – Приборы») были начаты в 1975 году при выполнении НИР «Лена» по исследованию возможности создания тепловизионного наблюдательного прибора на отечественном фотоприемном устройстве. Экспериментальный образец изделия в течение двух лет испытывался на заводских стендах и полигоне. Испытания подтвердили правильность заложенных в образец инженерных решений. По результатам

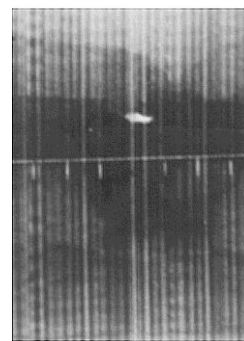
этой работы была поставлена ОКР «Пособие» по созданию первого в СССР тепловизионного наблюдательного прибора разведки 1ПН59 на базе ФПУ «Лена ФН» для подвижного разведывательного пункта (ПРП).

Прибор состоит из приёмного устройства 1 (рисунок 1), блока управления 2, блока коммутации 3 и двух блоков индикации. Картина местности проецируется на фоторезистор ФПУ двухлинзовым объективом в режиме **обнаружения** (угловое поле $3,3^\circ \times 4,3^\circ$) или зеркальным объективом в режиме **распознавания** (угловое поле $1,0^\circ \times 1,3^\circ$). Переключение режимов работы обеспечивается поворотом сканирующего зеркала на 90° . Фоторезистор ФПУ имеет 50 чувствительных элементов размером 100×100 мкм, расположенных в один ряд с шагом 130 мкм. Линейка ФПУ обеспечивает размер поля зрения по горизонту. Поле зрения по вертикали обеспечивается механическим сканированием поля зрения по фотоприёмнику с помощью колебания плоского зеркала по синусоидальному закону. На одной оси с колеблющимся зеркалом расположен датчик кадровой развертки, повторяющий закон колебания сканирующего зеркала и вырабатывающий сигнал нулевого положения, соответствующий нулевой линии визирования прибора.

Оптическая схема прибора 1ПН59 (рисунок 2) представляет собой два вложенных друг в друга объектива узкого (1, 2, 3, 4, 5) и широкого (1, 6, 7, 3, 4, 5) полей зрения. Деталь 2 - параболоид. Оптическая схема изделия была рассчитана для работы с фотоприёмником «Лена-ФН» в спектральном диапазоне 3..5 мкм.



а)



б)

Рисунок 1.

Тепловизионный прибор разведки 1ПН59: а) внешний вид; б) изображение на экране монитора;

1 - приёмное устройство; 2 - блок управления; 3 - блок коммутации;

4 - два блока индикации

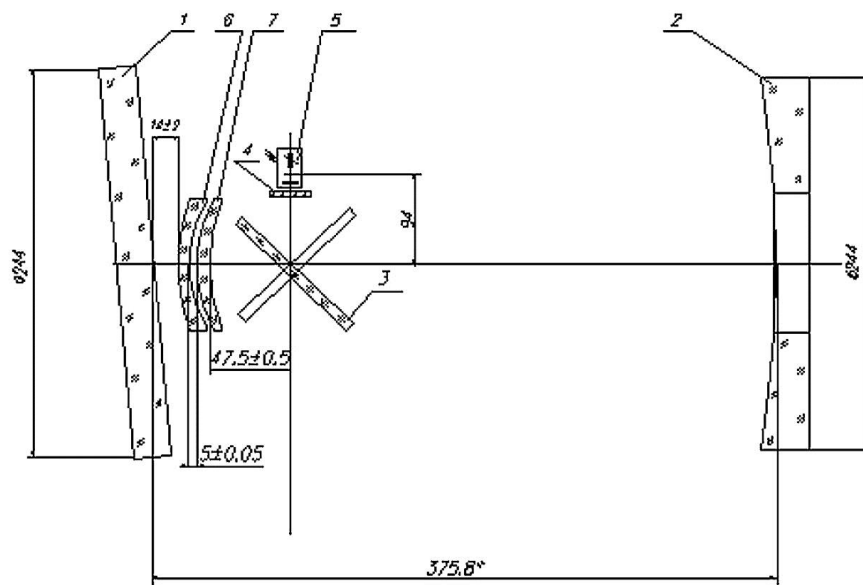


Рисунок 2.

Оптическая схема прибора 1ПН59

Особенностью тепловизионных приборов первого поколения является необходимость охлаждения чувствительных элементов фотоприемников до низких температур 79 К. Поэтому в составе изделия 1ПН59 имеется система охлаждения, состоящая из компрессора, фильтра, трубопроводов, соединяющих компрессор с микротеплообменником входящим в состав фотоприёмника. В микротеплообменнике газовая смесь (на базе азота), поступающая под высоким давлением, дросселируется, охлаждая фотоприёмник, затем возвращается под низким давлением в компрессор.

В приёмном устройстве расположена вся оптико-механическая часть изделия: два объектива - линзовый широкопольный и зеркальный узкопольный; механизмы: сканирования, смены полей зрения, фокусировки; основной электронный тракт: 50 усилителей сигналов; коммутатор опроса чувствительных элементов; источники питания; фотоприёмник с микротеплообменником. Приёмное устройство закреплено на подшипнике и может поворачиваться по вертикали в пределах от минус 6° до 16° от маховичка. Компрессор системы охлаждения был установлен неподвижно на сварном кронштейне и соединён с приемным устройством трубопроводами.

Блок управления вырабатывает сигналы управления, синхронизации, «марки» и обеспечивает выверку по горизонту. Блок коммутации предназначен для включения изделия, контроля времени наработки и защиты от перегрузок по току. Блок индикации служит для индикации картины наблюдаемого пространства на экране кинескопа.

Испытания, доработка конструкции и электрических схем, отработка технологии изготовления и, особенно, фотоприёмника «Лена ФН» проходили длительно и сложно. В основном был доработан фотоприемник, убрали низкочастотные шумы, исключили помехи, наводки в электронном тракте, добились хорошего качества изображения. Тепловизионный прибор наблюдения 1ПН59 имел большую

массу 80 кг, габариты и потребляемую мощность 600 Вт. Но это был первый серийный тепловизионный наблюдательный прибор в СССР с дальностью распознавания целей до 2000 м.

Прибор 1ПН71. В 1982 г. была поставлена ОКР "Пособие-2" (индекс изделия 1ПН71) по разработке тепловизионного прибора с ещё большей дальностью обнаружения/распознавания на ФПУ, работающем в спектральном диапазоне 8..14 мкм, так как в этой области спектра выше пропускание атмосферы, выше контрасты реальных тепловых картин.

К этому времени основные разработчики фотоприемников (НИИ ПФ, ГОИ и завод «Сапфир») освоили новый чувствительный материал: кадмий-ртуть-теллур (КРТ). В НИИ ПФ был разработан 64 элементный фотоприемник на КРТ, на базе которого была выполнена ОКР "Невесомость-64".

В отличие от фотоприемника «Лена ФН» (разработка завода «Сапфир»), ФПУ «Невесомость-64» содержит 64 чувствительных элемента КРТ размером 50×50 мкм, расположенных в виде линейки с шагом 100 мкм, и 64-х канальный усилитель. Система охлаждения до температуры 77 К имела меньшую массу, габариты и энергопотребление.

Принцип работы, состав и общая компоновка прибора 1ПН71 (рисунок 3) аналогичны прибору 1ПН59. Отличие состояло в том, что в приборе 1ПН71 применили оптико-механическую чересстрочную развертку, что эквивалентно удвоению числа чувствительных элементов.

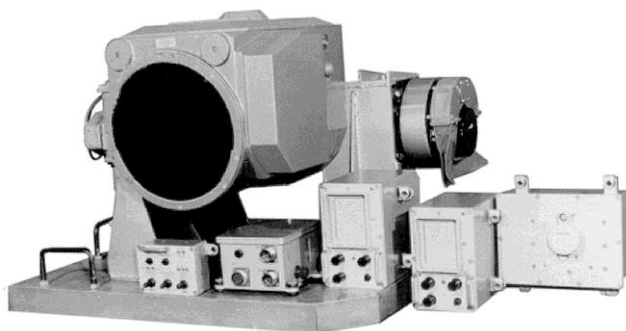


Рисунок 3.

Тепловизионный прибор разведки 1ПН71

Поэтому в приборе 1ПН71 формируется поле зрения такой же величины, что и в приборе 1ПН59, но с количеством тепловизионных строк 128, что позволило при одинаковых габаритах и массе получить в 1,5 раза большую дальность распознавания. Кроме того, повышенная до 33 Гц частота сканирования (вместо 16 Гц в приборе 1ПН59) позволила уменьшить мелькание изображения и повысить его качество.

Опыт работы с первыми тепловизионными приборами наблюдения показал необходимость введения эксплуатационной фокусировки при работе в различных климатических условиях (особенно при минусовых температурах), а также фокусировки на близко расположенные цели. Поэтому в приборе 1ПН71 были введены дистанционно управляемая от электропривода фокусировка малого зеркала насадки и сезонная (зима/лето) ручная фокусировка предпоследней линзы объектива.

Оптическая схема изделия содержит основной четырёхлинзовый объектив и зеркальную телескопическую насадку с увеличением $3,3^x$. Зеркала насадки асферические: два параболоида. Оптическая схема прибора 1ПН71 представлена на рисунке 4, а основные оптические параметры - в таблице 1.

В 1990 г. такая оптическая схема удовлетворяла всем требованиям, предъявляемым к прибору. Смена полей зрения осуществлялась выводом вторичного зеркала 3 из хода лучей. Перемещением этого же зеркала вдоль оси осуществляется фокусировка изображения на конечное расстояние в узком поле зрения. Детали 2 и 3 – зеркальные параболоиды, составляющие систему Мерсенна. Сканирование происходит в сходящемся пучке лучей за счет наклонов зеркала 5. Следует отметить, что оба параболоида имеют чрезмерно большое относительное отверстие – 1:0.85 и их изготовление сопряжено с известными трудностями. Это относится также к сборке насадки, так как незначительная децентрировка вторичного зеркала (по наклону $5..10''$, а по линейному смещению $0,01..0,03\text{мм}$) приводит к появлению комы и снижению контраста изображения, а небольшой перетяг главного зеркала в оправе вызывает сильный астигматизм.

Основные недостатки оптической схемы прибора 1ПН71:

- большие габариты и масса;
- большой размер и масса сканирующего зеркала;
- существенное ухудшение качества изображения при увеличении полей зрения в узком поле, что обусловлено возрастанием aberrаций системы Мерсенна;
- центральное экранирование в узком поле зрения;
- отсутствие плоскости промежуточного изображения для установки в ней кадрового окна с опорными излучателями.

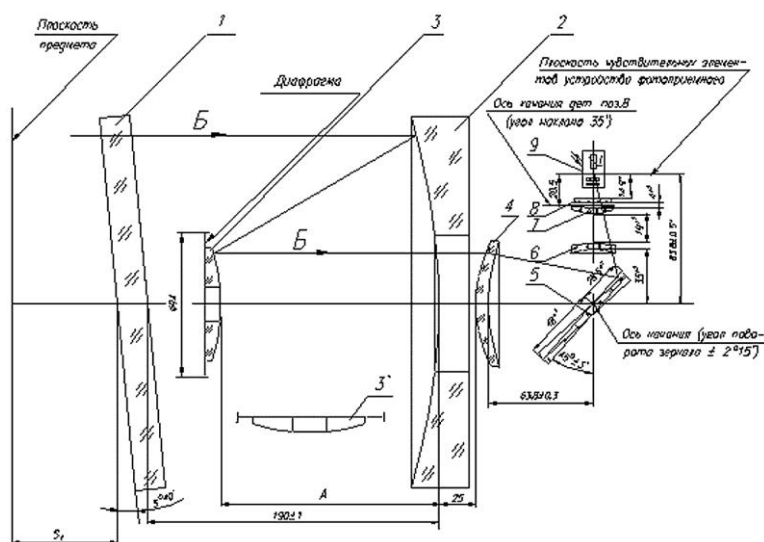


Рисунок 4.

Оптическая схема изделия 1ПН71

Таблица 1.
Параметры объективов

Оптические параметры	Объектив поз. 1, 4-8	Объектив поз. 1-8
Угловое поле в пространстве предметов, град.	3,4×4,3	1,0×1,3
Диаметр входного зрачка, мм	80	240
Относительное отверстие	1:1,35	1:1,5
Предел разрешения, угл. с.	80	25
Коэффициент пропускания	0,6	0,5

Производство приборов 1ПН59 и 1ПН71 было освоено на Новосибирском приборостроительном заводе и серийно приборы выпускались в 1987..1995 г.г.

При разработке и, особенно, при серийном производстве тепловизионных приборов возникли следующие проблемы:

- оптико-механическое сканирование потребовало разработки сканеров с чересстрочной разверткой с обеспечением высокой степени повторяемости закона сканирования и высокоточными датчиками положения;
- асферические зеркальные объективы потребовали освоения технологии асферизации поверхностей с диаметром до 300 мм;
- оптические материалы, непрозрачные в видимой области спектра и почти все токсичные в обработке, потребовали особой технологии изготовления и утилизации отходов;
- потребовалось освоение в производстве просветляющих покрытий, без которых невозможно использование ИК-оптики;
- традиционные методы и оборудование, применяемые в видимой области спектра для сборки, юстировки и проверки оптических приборов, в большинстве своем не подходили для непрозрачной ИК-оптики. Потребовалась разработка новых комплексов контрольной, юстировочной и метрологической аппаратуры;
- сканирующий тепловизионный прибор – сложный оптико-электронный механический прибор, в котором много электронных блоков и узлов. Потребовалась разработка методик, инструкций, контрольных стендов для настройки электронных печатных плат, блоков и прибора в целом.

Прибор 1ПН126. В 2005 г. «ЦКБ «Точприбор» разработало наблюдательный приборный комплекс разведки «Аргус-АТ» в составе тепловизионного прибора 1ПН126 с лазерным дальномером и дневно-ночного прибора 1ПН125.

Тепловизионный наблюдательный прибор разведки 1ПН126 был предназначен для замены приборов 1ПН59, 1ПН71. Управлять работой этого прибора можно как с пульта, так и с бортовой ЭВМ.

В состав приемного устройства 1ПН126 входят: тепловизионный канал, разработанный на базе модульного фотоприемного устройства АПУ-РЛ-412 (ФГУП «Альфа»), дальномерный канал и автоматизированный привод наведения по углу места цели (рисунок 5). В качестве фотоприемного устройства используется линейка с количеством чувствительных элементов 2×32 , размером 30×30 мкм, материал КРТ, спектральный диапазон 8..12 мкм.

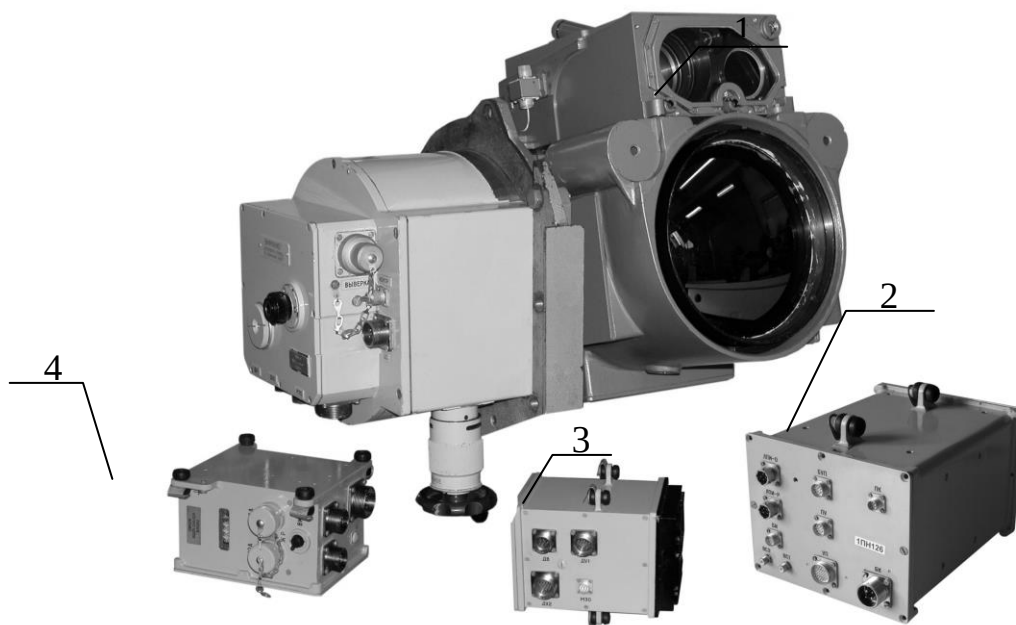


Рисунок 5.

Тепловизионный прибор наблюдения 1ПН126

**1 - устройство приемное; 2 - модуль электронной обработки;
3 - блок управления приводом; 4 - блок коммутации**

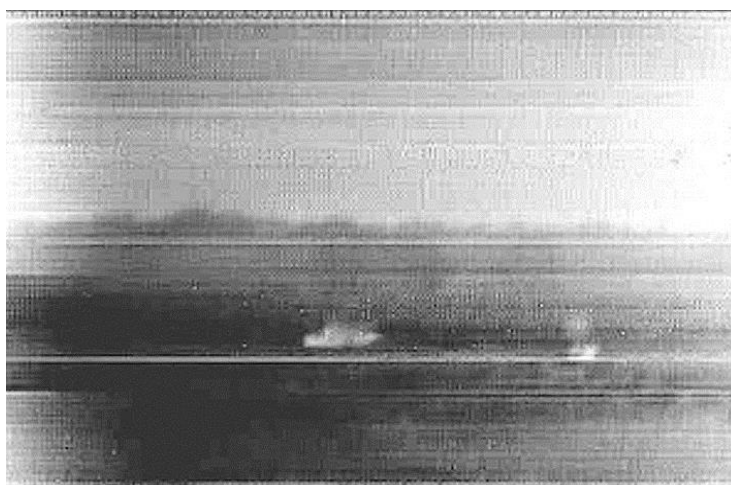


Рисунок 6.

Изображение на экране монитора 1ПН126

В оптической схеме используется линзовая насадка галилеевского типа с дискретным увеличением. Объясняется это тем, что поля зрения были увеличены в 1,5 раза. При таких полях изопланатическая насадка Мерсенна даёт большую сферическую aberrацию по полю. Кроме того существуют различия по способу сканирования: в приборе 1ПН71 сканирование осуществляется плоским зеркалом в сходящихся пучках лучей, а в приборе 1ПН126 многогранной германиевой призмой.

Насадка в узком поле зрения представляет собой фронтальный мениск 1 (объектив) и окуляр 3,4, за которым идёт параллельный пучок лучей. В широком поле зрения работает мениск 1 и линза 2, за которыми также идет параллельный пучок лучей. Смена полей зрения осуществляется поворотом деталей 2,3,4 вокруг оси O_1 на 90° в направлении Р (рисунок 7).

В автоматизированном приводе наведения по углу места цели, представляющего собой цифровую систему автоматического управления, в качестве исполнительного устройства используется электродвигатель и зубчато-червячный редуктор, а датчиком обратной связи служит оптоэлектронный датчик угла. В качестве задающего устройства, формирующего установку заданного угла, используется аппаратура комплекса средств автоматизации машины разведки, которая через модуль электронной обработки выдает в контроллер привода заданный угол места цели и скорость наведения приемного устройства.

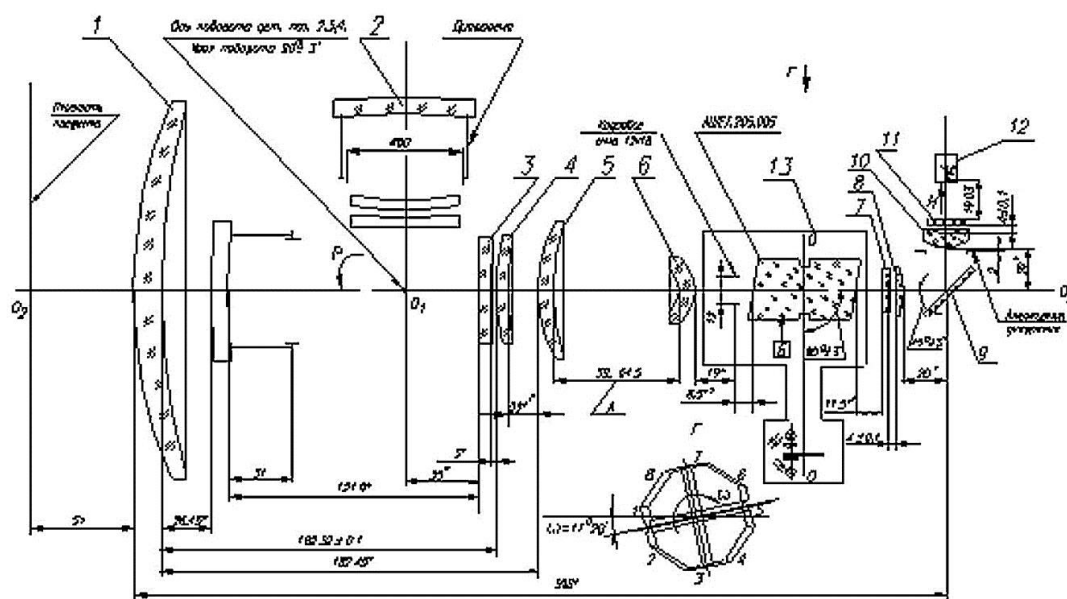


Рисунок 7.

Оптическая схема прибора 1ПН126

Погрешность измерения углов места цели в ручном и автоматическом режимах, отсчитываемых от нулевого положения, не более 0-02 в диапазоне от минус 5° до 15° . В режиме наблюдения используются шесть рабочих скоростей управления приводом от $0,05^\circ/\text{с}$ до $3^\circ/\text{с}$.

В модуле электронной обработке помимо преобразования видеосигнала в телевизионный формат, проводится цифровая обработка изображения. В состав модуля входит оконечное устройство,

которое по магистральному каналу (основному и резервному) обменивается сообщениями с автоматизированным рабочим местом **комплекса средств автоматизации** машины разведки.

Блок коммутации осуществляет подачу напряжения питания от бортсети, обеспечивает защиту аналоговой и силовых цепей от перегрузки по току и от включения напряжения обратной полярности, а также контроль времени наработки изделия по счетчику моточасов.

В состав оптической системы приемного устройства входят:

- **телескопическая насадка** с механизмом переключения полей;
- **объектив** с механизмом фокусировки, формирующий промежуточное изображение в кадровом окне;
- **сканер**, представляющий собой вращающуюся восьмигранную германиевую призму, противоположные грани которой имеют одинаковый угол наклона к оси вращения;
- **оптика переноса** изображения, строящая изображение в плоскости фотоприёмного модуля.

При вращении сканер смещает изображение перпендикулярно линейке ФПМ, формируя развёртку по строке, и трижды за время кадра последовательно сдвигает его после каждого просмотра вдоль линейки ФПМ на величину, равную её длине, формируя четыре зоны вдоль кадра. За один оборот призмы формируется два кадра. Далее сигналы с ФПМ усиливаются, коммутируются и поступают в МЭО, для обработки и преобразования в телевизионный сигнал, который поступает на ВСУ, на экране которого формируется тепловизионное изображение.

Тепловизионный прибор наблюдения 1ПН126 был разработан для ПРП-4А (рисунок 8).



Рисунок 8.

ПРП-4А

Заключение

В статье представлено описание основных схмотехнических принципов построения ряда тепловизионных приборов для объектов БТТ разработки ОАО «Швабе – Приборы» и ОАО «Швабе – Оборона и Защита». Представленная ретроспектива позволяет оценить эволюцию развития данной области приборостроения, начиная с середины XX века.

Список литературы

1. Точприбор: Монография: в 3 т [под ред. В.В. Малинина]. Новосибирск: Наука, 2011. – Том 1: Оптические и оптико-электронные приборы, системы прицеливания, разведки и наблюдения для сухопутных войск. С. 165 – 176, 295.

2. Коронин Ю.Н., Попов Г.Н., Касаткин И.В. Многоканальные оптико-электронные системы разведки и целеуказания // Комплексное решение проблемы создания систем высокоточного оружия: сб. докладов научно-практ. конф.. (Волгоград, 20-21 мая 2010 г.) – Волгоград, 2010. – С. 100 – 102.

Список литературы (транслитерированный)

1. Tochpribor: Monography: in 3 vol. (ed. V.V. Malinin) – Vol. 1. Optical and Optoelectronic Devices, Targeting and Observing Systems for Land Forces. [Tochpribor: Monographiya: v 3 t. (pod red. V.V. Malinina) – Tom 1. Opticheskie i optico-electronnye pribory, sistemy pricelivaniya, razvedki i nabludeniya dlya suhoputnyh voisk], Novosibirsk, Nauka, 2011, p. 165-176, 295.

2. Koronin U.N., Popov G.N., Kasatkin I.V. Multichannel Optoelectronic observing and targeting systems. // Umbrella approach of the high-precision weapon systems development. [Mnogokanalnye optico-electronnye sistemy razvedki i celeukazaniya. // Kompleksnoe reshenie problem sozdaniya vysokotochnogo oruzhiya]: book of the conf. (Volgograd, 20-21 may 2010) – Volgograd, 2010. – p. 100 – 102.