

## ОТЗЫВ

официального оппонента, действительного члена Академии инженерных наук имени А. М. Прохорова, д.т.н. **В.П. Кирьянова** на диссертацию и автореферат диссертации **Голицына Андрея Вячеславовича** «Прибор наблюдения с лазерным локационным и тепловизионным каналами», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.6 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы»".

Диссертация А.В. Голицына посвящена решению задачи создания действующего образца ручного высокоинформативного наблюдательного прибора, обеспечивающего высокую достоверность обнаружения и распознавания целей различного характера, в том числе тщательно замаскированных и закамуфлированных. Подобные свойства наблюдательного прибора достигаются за счёт объединения в едином приборе каналов, работающих в разных спектральных диапазонах. Однако, как правило, многоканальные наблюдательные приборы по предельно реализованным характеристикам существенно уступают одноканальным. В диссертации А.В. Голицына решается проблема оптимизации состава каналов и их характеристик, обеспечивающих при равных массогабаритных характеристиках и энергопотреблении превосходство поисковых характеристик и дальности действия многоканального наблюдательного прибора по сравнению с аналогичными показателями одноканальных приборов.

**Актуальность работы.** Известно, что совмещение разносектральных изображений в многоканальных оптико-электронных системах дает единую и быстро воспринимаемую картину наблюдаемого пространства. Однако создание многоканальных систем наблюдения с совмещенным изображением каналов и цифро-алфавитной информации в едином информационном поле связано с серьезными проблемами, обусловленными различными форматами и размерами фотоприемников, взаимными помехами изображений каналов, потерей разрешения при совмещении разнородных дискретных растров, технологическими и эксплуатационными отклонениями оптических компонентов каналов. В ручном наблюдательном приборе возникают также дополнительные трудности, связанные с тем, что совмещение должно производиться в реальном масштабе времени, результат обработки данных должен выводиться на малоформатный дисплей и само совмещение не должно быть затратным по вычислительным ресурсам,

В последнее время развитие промышленных технологий предоставило техническую возможность реализации многоканальных наблюдательных приборов, по габаритам, массе и энергопотреблению приемлемых для использования в ручном варианте. При создании ручных многоканальных наблюдательных приборов с массой, характерной для одноканального варианта прибора, добавление любого дополнительного канала неизбежно приводит к уменьшению апертур и фокусных расстояний объективов, используемых в



каждом канале, что влечет за собой снижение дальности наблюдения и обнаружения цели в любом отдельном канале.

Обзор созданных к моменту выполнения диссертационной работы многоканальных наблюдательных приборов показал, что не обнаружено ни одного ручного многоканального наблюдательного прибора, в котором бы имело место реальное, совмещенное на микродисплее, в едином масштабе изображение визирных каналов. Единственный прибор, выявленный соискателем, который реализует указанную задачу (производит совмещение в едином масштабе изображений и от канала телевизионного ночного видения, и от тепловизионного канала) это прибор модели AN/PSQ-20A компании ITT Exelis (США). Но этот прибор относится к классу наплечных и обеспечивает задачу оптическим совмещением изображений в окуляре. Не обнаружено соискателем также ни одного ручного многоканального наблюдательного прибора, содержащего лазерный локационный и тепловизионный каналы, изображения которых совмещены на микродисплее. Всё это однозначно указывает на очевидную *актуальность* выполненных исследований.

Диссертационная работа представлена на 116 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений условных обозначений, списка цитируемой литературы из 132 наименований и одного приложения. В основном тексте диссертации содержится 70 рисунков и 12 таблиц.

**Во введении** диссертации приводятся сведения об актуальности и степени разработанности темы исследования, целях и задачах, научной новизне, теоретической и практической значимости работы, методологии и методах исследования, положениях, выносимых на защиту, апробации результатов и степени их достоверности.

**В первой главе** диссертации соискателем выполнен обзор современного состояния в мире, достигнутых результатов в сфере создания ручных и переносных многоканальных наблюдательных приборов. Типичный многоканальный наблюдательный прибор имеет два визирных канала: тепловизионный и телевизионный. Большинство таких приборов производятся в виде производственных линеек созданных моделей, в которых каждая последующая модель может дополняться по сравнению с базовым прибором либо приемником спутниковой навигации, либо цифровым компасом, либо инклинометром и лазерным дальномером, либо их различными комбинациями. Приборы ведущих зарубежных производителей имеют варианты каналов с криогенными и термоэлектрическими охлаждаемыми или неохлаждаемыми тепловизионными матрицами. На основе проведенного анализа сложившихся тенденций соискателем ставятся задачи для последующего диссертационного исследования:

1. Разработать метод согласования масштаба изображений каналов, различающихся по формату и размерам фотоприемных матриц, спектральным диапазонам и физическим принципам действия.



2. Разработать метод совмещения согласованных по масштабу изображений в едином информационном поле многоканального прибора.
3. Определить необходимую глубину интеграции каналов по электронике, входной оптике, процессорам изображений, устройствам отображения и изображению.
4. Разработать методы повышения скорости обзора и дальности действия лазерного локационного канала.
5. Разработать оптические схемы ТПВ и ЛЛ каналов, позволяющие реализовать согласование масштабов изображений каналов и повысить поисковые характеристики ручного многоканального наблюдательного прибора.

Таким образом, *объектом диссертационного исследования* стали оптические схемы ТПВ и ЛЛ каналов ручного многоканального наблюдательного прибора, а *предметом* исследования - методы согласования масштабов изображений, методы совмещения изображений, согласованных по масштабу, и технические решения оптических схем ТПВ и ЛЛ каналов.

**Во второй главе** соискатель рассматривает метод организации единого информационного поля многоканального наблюдательного прибора. По мнению соискателя, процедура объединения изображений каналов в едином информационном поле затруднена следующими техническими проблемами:

- наличием различных форматов фотоприемных матриц каналов;
- различным шагом элементов фотоприемных матриц, как по вертикали, так и по горизонтали;
- наличием взаимных помех изображений каналов при наложении;
- различными искажениями масштаба по полю зрения оптическими системами каналов (дисторсиями);
- различными температурными изменениями масштабов каналов в заданном температурном диапазоне эксплуатации прибора.

Соискателем разработан метод совмещения изображений на экране дисплея в едином масштабе. Способ заключается в согласовании углового размера пикселей или групп пикселей двух или более каналов в вертикальном направлении при габаритном расчете оптических систем, а в горизонтальном направлении, используя возможности электронной обработки изображений с помощью т.н. fusion-процессора. Как показала практика создания действующего образца прибора, для ручных и переносных многоканальных наблюдательных приборов с ограниченным энергопотреблением метод оказался оптимальным для его практического применения.

**В третьей главе** описываются методы и средства обеспечения единого масштаба изображений в процессе проектирования, производства и эксплуатации макетного образца с тепловизионным и лазерным локационными каналами (ЛЛК). Для этого соискателем предложено ещё на этапе расчёта ввести



ограничение дисторсии оптических систем каналов. Кроме того, для обеспечения единого масштаба изображений обоих каналов по всему полю изображения предложено ввести подрегулировку оптического увеличения в проекционной системе лазерного локационного канала, а в тепловизионном канале ввести регулировку по горизонтали во fusion-процессоре путём реализации субпиксельного электронного увеличения.

**В четвертой главе** соискатель подробно описывает предложенную им модификацию процедуры расчета приемного объектива-суперапохромата лазерного локационного канала. К объективу ЛЛК, который должен обеспечить высокое качество передачи изображения в спектральном диапазоне (0,45–0,85) мкм, предъявляются весьма жесткие требования по исправлению хроматизма положения. Ахроматизация в указанном спектральном диапазоне (0,45–0,85) мкм потребовала выполнения расчета объектива с исправленным хроматизмом положения на четырех длинах волн. Соискателем данная процедура была блестяще выполнена, причём в варианте с высоким относительным отверстием (1: 2), полным использованием спектрального диапазона ЭОПа поколения 2+ (0,43–0,88 мкм) и максимальной дальностью обнаружения цели.

**Пятая глава** диссертации посвящена методам повышения эффективности лазерного локационного канала (ЛЛК). ЛЛК обеспечивает возможность обнаружения замаскированных оптико-электронных приборов разведки и прицеливания (за счет наблюдения бликов – откликов, формируемых в результате ретроотражения зондирующего лазерного излучения) на дальностях, недоступных другим каналам. В этой главе соискатель рассматривает два предложенных им лично инновационных подхода. Первый подход (метод) - автоматическое сканирование пространства по дальности в задаваемых границах. Полный просмотр пространства по дальности может осуществляться в темпе поступления 25-50 кадров/с. Задавая границы в пределах глубины одного строка дальности (порядка 300метров), оператор гарантирует получение максимального отношения сигнал/фон. При задании максимальной глубины просматриваемого пространства оператор получит минимальное отношение сигнал/фон. Согласно данному методу, основная задача оператора – установить границы автоматического сканирования для достижения максимального отношения сигнал/фон при обеспечении просмотра всей наблюдаемой сцены. Предложенный соискателем метод поиска цели обеспечивает по отношению к непрерывной зондирующей подсветке цели повышение отношения сигнал/фон в 60 раз на дальностях наблюдения от 0 до 1000 м, при равной скорости поиска. Второй подход (метод повышения эффективности поиска цели) – управление подводимой мощностью излучения подсветки цели в зависимости от расстояния до текущей зоны контроля. В обычном режиме при постоянной мощности излучения подсветки ближняя зона наблюдений получает максимальную дозу излучения. Из-за неизбежной расходимости излучения с ростом расстояния доза облучения элементарной площадки на поверхности цели падает пропорционально второй степени расстояния до цели. В свою очередь, интенсивность дошедшего до регистратора отражённого от та-



кой площадки излучения также падает и также пропорционально второй степени расстояния от цели до регистратора. В целом, интенсивность регистрируемого наблюдательным прибором вернувшегося зондирующего излучения падает пропорционально четвёртой степени расстояния до цели. Чтобы обеспечить равную вероятность обнаружения цели, соискатель предлагает распределять энергию зондирующего излучения дискретно по зонам, глубиной порядка 100 метров, в диапазоне до 2000 метров по специальному закону, пропорционально четвёртой степени расстояния до цели. Дискретность подведения энергии излучения реализуется за счёт формирования импульсов подсветки, строго определённой длительности. Подобный режим дает выигрыш в средней энергии принятого ретроотраженного сигнала на максимальной дистанции (2000 метров) в 4,6 раза. Совместное применение обоих предложенных методов в действующем образце ручного многоканального наблюдательного прибора, содержащего лазерный локационный и тепловизионный каналы, позволило обнаружить замаскированный прицел класса ПСО-1 в условиях яркого солнечного дня (естественная окружающая освещенность 100 000 люкс) на дистанции до 500 метров. В ночных и сумеречных условиях дальность обнаружения превосходила километр.

В **Заключении** диссертации сформулированы основные результаты оппонируемого исследования.

В целом, можно констатировать, что соискателем успешно решена задача создания действующего образца ручного высокоинформативного наблюдательного прибора, содержащего лазерный локационный и тепловизионный каналы и обеспечивающего высокую достоверность обнаружения и распознавания целей различного характера.

Новизна предложенных в диссертации технических решений подтверждена приоритетными публикациями и шестью патентами Российской Федерации.

Научная значимость диссертационного исследования Голицына А.В. состоит:

- в реально достигнутых результатах совершенствования методов расчёта специальных оптических объективов,
- в реализации оригинального метода совмещения изображений отдельных каналов многоканального оптико-электронного прибора в едином масштабе в едином информационном поле,
- в реализации оригинального метода обеспечения единого увеличения каналов по всему полю изображения.
- в реализации оригинального метода повышения скорости обзора и дальности действия лазерного локационного канала.



Практическая значимость диссертационного исследования Голицына А.В. состоит в создании действующих образцов двухканальных приборов наблюдения разработки Филиала ИФП "КТИПМ", в выпуске на основе результатов исследований серии анτισнайперских ночных прицелов 1ПН106, 1ПН119, 1ПН120, 1ПН123 в АО "Швабе-приборы", характеризуемых предельным качеством изображений каналов, обеспечиваемое форматом и спектральным диапазоном используемых фотоприемных матриц.

Автореферат диссертации полностью отражает все важнейшие положения диссертации.

Диссертация написана грамотным литературным языком, однако в некоторых местах допущены досадные недочёты. Например, на стр. 11 и 99 допущены несогласованности текста: «...многоканальный оптико-электронных приборов наблюдения» и «...отношение сигнал снижается..», На странице 88 говорится о наличии «...точного источника», хотя напрашивается определение «...точечного источника». На стр. 66 допущено разное написание фамилии Герцбергера. На стр. 7,8, 10, 16 и 64 соискатель вводит сокращения без предварительных пояснений, В ряде случаев они приводятся, но только несколькими страницами позже. Например, сокращение ЛЛК., впервые введённое на стр.7, поясняется на стр. 10, а сокращение ТПВК, введённое на стр.10, поясняется только на стр. 46. На страницах 8,10, 15 допущены просто грамматические ошибки.

На стр. 10, 64, 86 и 97 желательно ввести дополнительные ссылки на источники цитирования.

На стр. 67 правило выбора стёкол для создаваемого объектива целесообразно уточнить следующим образом: «...Для более точного отыскания троек, между координатами  $R_{435}$ - $R_{900}$ - $N_D$  двух выбранных марок проводится прямая, к которой выдается список прилегающих к ее проекции в плоскости  $R_{435}$ - $R_{900}$  (с заданной точностью) *проекций координат* марок стекол в формате: марка,  $N_D$ , число Аббе, расстояние до проекции линии...».

К замечаниям методического плана можно отнести пожелание оппонента добавить пояснения к функциональному наполнению понятий «...комплексированные, комбинированные и интегрированные...» изделия (стр. 6) применительно к ручным наблюдательным приборам.

Не совсем понятно, что имел в виду соискатель, заявляя на стр. 96 следующее: «..фильтр позволяет подавить фоновый сигнал за пределами спектральной полосы полупроводникового лазера фары в 0,01 мкм» и чем обосновано использование в действующем образце прибора двух микродисплейных матриц вместо одной (стр. 47-48)?

К сожалению, соискатель не поясняет, почему принцип совмещения изображений от обоих каналов на микродисплее более предпочтителен, чем



принцип оптического совмещения изображений в окуляре, реализованного в американском приборе AN/PSQ-20A. А ведь в этом случае нет проблемы совмещения растров.

Однако, сделанные выше замечания в целом не снижают положительно-го эффекта от выполненного исследования, т.к. касаются вопросов, не имеющих принципиального значения.

Диссертационная работа А.В. Голицына «Прибор наблюдения с лазерным локационным и тепловизионным каналами» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение принципиально важной для отечественной оптико-механической промышленности задачи по созданию действующего образца ручного высокоинформативного наблюдательного прибора, обеспечивающего высокую достоверность обнаружения и распознавания целей различного характера. Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Российской Федерации (Постановление Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013, редакция от 11.09.2021), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, **Голицын Андрей Вячеславович**, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.6 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Официальный оппонент,  
ведущий научный сотрудник лаб. №16 ИАиЭ СО РАН,  
действительный член академии инженерных наук им. А.М. Прохорова,  
доктор технических наук  (В.П. Кирьянов)

03.11. 2022 г.

Подпись в.н.с. лаб. №16 ИАиЭ СО РАН,  
действительного члена АИН им. Прохорова,  
д.т.н. В.П. Кирьянова *заверяю.*

Учёный секретарь ИАиЭ СО РАН  
к.ф.-м..н.

Федеральное  
электронное  
630090, Россия  
+7 (383) 33051

Институт автоматизации  
академии наук.  
Коптюга, д. 1

*Отзыв получен 18.11.2022* *А.В. Степанов М.А.*

*С отзывом ознакомлен 18.11.2022* *Голицын А.В.*