

Труды МАИ. 2022. № 123

Trudy MAI, 2022, no. 123

Научная статья

УДК 623.09

DOI: [10.34759/trd-2022-123-16](https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-16)

## ТРЕБОВАНИЯ К БОРТОВЫМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ СРЕДСТВАМ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Александр Борисович Бельский<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный центр вертолётостроения им. М.Л. Миля и Н.И. Камова,  
Томилино, Московская область, Россия

<sup>2</sup>Московский авиационный институт (национальный исследовательский  
университет),  
Москва, Россия

[abelskiy@mi-helicopter](mailto:abelskiy@mi-helicopter)

*Аннотация.* Необходимость круглосуточного, всепогодного и безопасного выполнения боевых и специальных задач летательными аппаратами (ЛА) военного назначения, обеспечение полной ситуационной осведомленности экипажа ЛА о закабинном пространстве и фоноцелевой обстановке (ФЦО) в условиях информационного противодействия противником, накладывают повышенные требования к средствам воздушной разведки, т.е. функциональным характеристикам

бортовых систем мониторинга, обнаружения и распознавания целей, а также к определению их координат и целеуказания.

В статье рассматриваются и анализируются особенности построения, применения бортовых оптико-электронных систем (ОЭС) для выполнения задач воздушной разведки.

**Ключевые слова:** оптико-электронные системы, радиолокационные системы, комплексирование изображений, информационные каналы, алгоритмы обработки

**Для цитирования:** Бельский А.Б. Требования к бортовым оптико-электронным средствам воздушной разведки летательных аппаратов // Труды МАИ. 2022. № 123.

DOI: [10.34759/trd-2022-123-16](https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-16)

## REQUIREMENTS FOR ON-BOARD OPTICAL-ELECTRONIC MEANS OF AERIAL RECONNAISSANCE OF AIRCRAFT

Alexander B. Belsky<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>JSC «Helicopters Mil&Kamov»,  
Moscow region, Tomilino, Russia

<sup>2</sup>Moscow Aviation Institute (National Research University),  
Moscow, Russia

[alboricovich@yandex.ru](mailto:alboricovich@yandex.ru)

**Abstract.** The need for round-the-clock, all-weather and safe execution of combat and special missions by military aircraft, ensuring full situational awareness of the crew of the aircraft in the cockpit and the background situation under conditions of enemy information

countermeasures impose increased requirements on airborne reconnaissance assets, namely on the functional characteristics of airborne monitoring, detection and recognition of targets, as well as determination of their coordinates and target designation

Airborne reconnaissance (monitoring) is carried out by special airborne technical means of reconnaissance of the aircraft, providing acquisition, registration, indication, processing and transfer of necessary data on objects and target environment.

Technical reconnaissance facilities include radar, radio-technical, and optoelectronic systems operating in various spectral wavelength ranges, independently or together in various combinations.

Optical-electronic systems are the most effective means for solving air reconnaissance tasks and obtaining information about the location and types of enemy objects due to their passive operation mode and high level of image resolution of targets (objects), including in complex background-target and operational-tactical environments.

The article discusses and analyzes the features of creating on-board optoelectronic systems to expand the capabilities of on-board optoelectronic systems for conducting aerial reconnaissance: building a system based on functionally-constructive unified subsystems and modules; multi-channel; using a hyperspectral channel for detecting, recognizing hidden, disguised objects; intellectualization of functioning; integration of individual subsystems and channels; automation of the processes of mutual alignment of channels, built-in monitoring and troubleshooting; automatic tracking of areal, point objects, with the allocation and further tracking of several targets; stabilization of the line of sight; interfacing with sensors for obtaining heterogeneous information; application of digital information processing methods; generation of output data from various sensors for

processing and solving recognition problems; ensuring group interaction as part of the various control circuits.

**Keywords:** optoelectronic systems, radar systems, image integration, information channels, processing algorithms

**For citation:** Belsky A.B. Requirements for on-board optical-electronic means of aerial reconnaissance of aircraft. *Trudy MAI*, 2022, no. 123. DOI: [10.34759/trd-2022-123-16](https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-16)

Выделяют несколько видов воздушной разведки:

- объектовая разведка (обнаружение, распознавание целей противника, целеуказание для применения авиационных средств поражения (АСП);
- радиохимическая и биологическая разведка (РХБ) воздушной среды и местности;
- инженерная разведка местности и др.

Воздушная разведка (мониторинг) осуществляется специальными бортовыми техническими средствами разведки (ТСР) ЛА, обеспечивающими получение, регистрацию, индикацию, обработку и передачу необходимых данных об объектах и ФЦО.

К ТСР относятся радиолокационные (РЛ), радиотехнические (РТ) и оптико-электронные (ОЭ) системы, работающие в различных спектральных диапазонах длин волн, автономно или совместно в различных комбинациях.

ОЭС являются наиболее эффективными средствами для решения задач воздушной разведки и получения информации о расположении и типах объектов противника (благодаря пассивному режиму работы и высокому уровню разрешения

изображения целей (объектов), в том числе в сложной ФЦО) и оперативно-тактической обстановке.

ОЭС, как правило, входят в структуру комплексов бортового оборудования (КБО) ЛА, выполняющих боевые или специальные задачи, как самостоятельно, так и в составе однородных или смешанных групп ЛА (вертолеты, самолеты, БПЛА) в рамках разведывательно-ударных / разведывательно-огневых контуров (РУК / РОК) управления.

Таким образом, проведение воздушной разведки ЛА – задача многоплановая, которая включает поиск, обнаружение, распознавание различных целей и объектов противника и проводится в рамках оперативно-тактических мероприятий в любых физико-географических регионах, простых и сложных метеоусловиях, в том числе при наличии помеховых информационных воздействий и маскировке объектов со стороны противника.

Необходимо отметить, что при наличии естественных и искусственных средств маскировки на местности существенно (до 40%) уменьшаются возможности информационных каналов ОЭС по обнаружению и распознаванию целей противника.

Эффективность функционирования ТСР оценивается следующими основными критериями:

- вероятность обнаружения объекта;
- вероятность распознавания объекта;
- дальность действия ТСР;
- точность определения местоположения объекта и ошибки измерения его

параметров (угловое или линейное разрешение);

- ширина полосы захвата местности (угол обзора).

Преимуществами воздушной разведки, получаемой с помощью ТСР ЛА, по сравнению с наземными средствами разведки, являются:

- быстрое проникновение в глубину расположения противника;
- быстрое обследование (мониторинг) «обширных» оперативно-тактических

районов и ФЦО;

- оперативная доставка и документальная достоверность разведывательных данных командованию добытых сведений;

- объективная «беспристрастность» воздушной разведки.

К недостаткам воздушной разведки можно отнести:

- трудность распознавания замаскированных объектов противника;
- невозможность длительного и непрерывного наблюдения одного и того же

объекта (ограниченность пребывания в воздухе, зависимость от атмосферных, сезонных и метеорологических условий).

Планомерная систематизация задач воздушной разведки с другими видами разведки (наземная, космическая и т.п.) позволяет сформировать полные объективные данные о противнике в реальной фоноцелевой и оперативно-тактической обстановке.

Современные бортовые ОЭС ЛА обеспечивают ведение воздушной разведки в дневное и ночное время суток, осуществляют обнаружение и распознавание наземных, воздушных и морских объектов (целей), а также обеспечивают применение АСП в любое время суток и в любых метеоусловиях.

Эффективность решения задач разведки (мониторинг, наблюдение) в значительной степени определяется качеством работы бортовых ОЭС, обеспечивающих бортовые комплексы управления, вооружения и обороны ЛА информацией о характеристиках, параметрах положения и движения объектов (целей) противника.

К основным характеристикам обзорно-поисковых и обзорно-прицельных ОЭС относятся:

- многофункциональность (применение для решения поисковых, обзорно-прицельных и разведывательных задач);
- круглосуточное и всепогодное функционирование;
- широкое поле зрения (панорамный обзор);
- повышенная дальность действия (за периметром безопасности ЛА);
- правильное распознавание и точное определение координат целей;
- оптимальная адаптация в составе ОЭС;
- оперативность получаемой информации в зависимости от условий боевого применения и типа решаемых задач.

К новым требованиям в развитии ОЭС следует отнести выполнение задач ЛА по ведению сетцентрических боевых действий в составе РУК, т.е. интеграции ЛА в единую сеть наземных и воздушных средств, для повышения боевой эффективности отдельного ЛА, а также достижения суммарного синергетического эффекта.

Комплексирование информации о местоположении цели, полученных от разных источников, позволяет повысить точность определения координат объекта и произвести правильное распознавание (вскрытие замаскированного) объекта,

автоматическую корректировку данных о его местоположении.

Одной из проблем проведения воздушной разведки ЛА является применение противником средств направленного противодействия (маскировки), снижающих информационные признаки цели (световой, тепловой контраст). Совершенствование ОЭС в части расширения рабочего диапазона длин волн, количества информационных каналов ОЭС, увеличение спектрального разрешения, применение дополнительных информационных признаков (спектральный, 3D локационный портрет объекта) должны повысить вероятностные характеристики обнаружения и распознавания целей в сложной ФЦО.

Поэтому вопрос применения гиперспектральной системы (канала) в составе ОЭС (способной построить спектральный портрет и обеспечить получение дополнительной информации) остается актуальным и насущным, что неоднократно было отражено в ряде ранних публикаций, однако пока данная задача не переведена в практическую плоскость решения.

Например, введение в состав ОЭС дополнительного гиперспектрального канала или применение в составе КБО гиперспектральной аппаратуры позволит выделить спектральные портреты и вскрыть замаскированные типовые цели противника.

В целом, бортовая ОЭС является составной частью единой системы информационного взаимодействия и должна обеспечивать разведывательной информацией независимых пользователей по разным каналам связи и управления с решением задач обнаружения, распознавания и выдачи целеуказаний (информации) заинтересованным потребителям, посредством использования расширенного

технического зрения (широкое, среднеширокое, среднее, узкое, ультра узкое поле зрения) с высоким разрешением и «интеллектом».

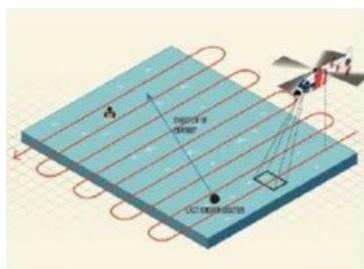
Высокое разрешение ОЭС достигается за счет высокоточной гиостабилизации линии визирования (на уровне угловых секунд), а также комплексированием разноспектральных изображений от информационных каналов, что позволит увеличить дальности обнаружения, распознавания целей и повысит возможности отслеживания мобильных объектов в сложной ФЦО.

Дальнейшее развитие ОЭС связывают с направлением интеллектуализации функционирования ОЭС и, в-первую очередь, в реализации автоматического процесса обнаружения, распознавания объектов на обширных площадях в реальном масштабе времени.

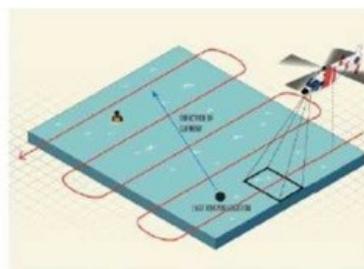
В последнее время зарубежными компаниями – разработчиками ОЭС активно внедряются элементы искусственного интеллекта в процесс функционирования ОЭС. Примером может быть адаптивная система искусственного интеллекта Merlin (Merlin Intelligence Suite), которая может автоматически обнаруживать подвижные объекты, в том числе малоразмерные малоконтрастные цели (рисунок 1) и выделять их на экране. Автоматическое целевое обнаружение системы Merlin позволяет операторам использовать более широкие области для обнаружения объектов и действовать с более высоких высот, делая разведывательные операции более безопасными и эффективными (рисунок 2).



Рис.1. Автоматическое обнаружение целей Merlin Intelligence Suite



а)



б)

Рис.2 Решение задач обнаружения целей без использования системы Merlin (а) и с ней (б)

Также активно реализуется тенденция по созданию ОЭС наблюдения больших площадей. Например, система Redkite – легкая адаптивная контейнерная система наблюдения больших площадных объектов для пилотируемых и беспилотных ЛА. Redkite предусматривает работу с окнами и выделенными областями с возможностью объединения изображений с цифровыми картами местности. Операторы могут одновременно получить доступ к 10 окнам, показывая текущее видео из выбранных областей. При этом текущая информация может быть передана наземным пользователям по стандартным радиоканалам.

Система Redkite благодаря малым размерам и массе может быть установлена на легкомоторные самолеты, вертолеты (рисунок 3) и БЛА.



Рис. 3. Размещение Redkite на вертолете

Перспективы развития систем оптико-электронной разведки ЛА для обеспечения панорамных обзоров с целью получения площадной информации могут быть достигнуты следующими способами:

а) большое поле просмотра (обзора) формируется за счет организации специального режима сканирования обзорно-поисковыми или обзорно-прицельными ОЭС (кадровая ОЭС).

В общем случае кадровая ОЭС формирует цифровое изображение в виде кадров размером  $M \times N$  элементов (пикселов). Для ведения площадной воздушной разведки необходимо обеспечить сканирование местности в поперечном направлении с перекрытием кадров, как в продольном, так и в поперечном направлении. Сканирование осуществляется изменением углового положения оптической оси ОЭС по азимуту и отклонением оси ОЭС от плоскости горизонта ЛА. Причем сканирование можно вести как вдоль линии, перпендикулярной направлению полета (точка пересечения оптической оси ОЭС и плоскости горизонта

движется по прямой, перпендикулярной направлению полета), так и вдоль дуги окружности (точка пересечения оптической оси ОЭС и плоскости горизонта движется по дуге окружности).

Целесообразно, чтобы процесс сканирования происходил в автоматическом режиме (рис.4), это позволит обеспечить выполнение разработанного алгоритма в требуемых параметрах и разгрузить экипаж вертолета от лишних нагрузок.

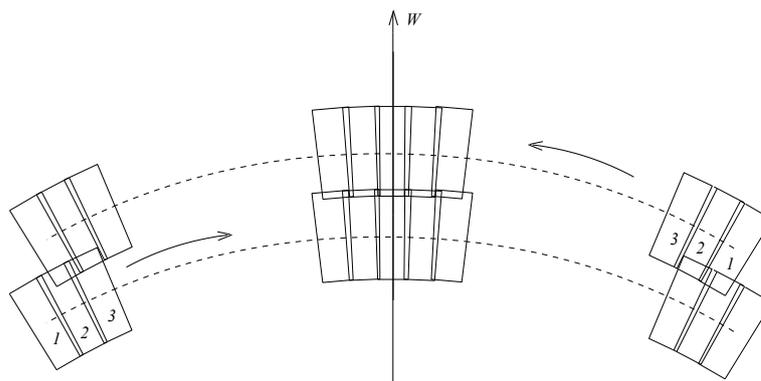


Рис. 4. Сканирование местности

б) обеспечение информационного взаимодействия (обеспечение требуемой «площадной» информации) ЛА в составе разведывательно-ударного контура при наличии ЛА/БЛА ведущего площадную разведку.

Тогда на первый план выходит задача реализации комплексного решения, которое обеспечит создание интегрированного комплекса ЛА, включающего ОЭС, аппаратура передачи/получения информации в составе однородно или разнородной группы и пункта управления в составе единого контура. При этом нужно обеспечить функционирование ОЭС на борту в полном объеме - прием, обработка с вскрытием объектов, фиксирование результатов, сжатие информации, передача другим потребителям с учетом перспектив увеличения состава, объема, структуры

получаемых данных.

Проведем оценку информационного потока, получаемого от штатной ОЭС, решающей задачи обнаружения объектов.

Информационный поток бортовой ОЭС во многом определяется параметрами кадров – его размерами и цветностью. В качестве примера можно взять следующие типовые размеры кадров ОЭС:

в ТВ канале:  $1280 \times 1024$  эл.

в ИК канале:  $640 \times 512$  эл.

При расчете полагаем следующие начальные условия:

Размер матрицы ТВ канала может быть от  $1280 \times 1024$  элементов до  $2048 \times 2048$  элементов, ИК-канал с матрицей  $640 \times 512$  элементов.

Частота кадров 50 кадров в секунду.

Количество разрядов 8 для 256 градаций серого цвета.

Количество пикселей одного кадра ТВ-канала составит

$$1280 \times 1024 = 1\,310\,720$$

$$2048 \times 2048 = 4\,194\,304$$

Количество пикселей одного кадра ИК-канала составит

$$640 \times 512 = 327\,680$$

При передаче 256 градаций серого (8 разрядов) информационная емкость одного кадра составит

$$1\,310\,720 \times 8 = 10\,485\,760 \text{ бит}$$

$$4\,194\,304 \times 8 = 33\,554\,432 \text{ бит}$$

$$327\,680 \times 8 = 2\,621\,440 \text{ бит}$$

При передаче видеоданных с частотой 50 кадров в секунду информационный поток составит

ТВ-канал (1280 x 1024 элементов)

$$10\,485\,760 \times 50 = 524\,288\,000 \text{ бит/сек}$$

ТВ-канал (2048 x 2048 элементов)

$$33\,554\,432 \times 50 = 1\,677\,721\,600 \text{ бит/сек}$$

ИК-канал (640 x 512 элементов)

$$2\,621\,440 \times 50 = 131\,072\,000 \text{ бит/сек}$$

Таким образом, информационная производительность ОЭС

ТВ-канала – от 0,5 Гбит/сек до 1,67 Гбит/сек

ИК-канала – 0,13 Гбит/сек.

Из этих данных видно, что информационный поток различен для разных каналов ОЭС. Полученные результаты показывают также, что цифровой информационный поток от ТВ канала большой и его целесообразно сократить. Один из путей сокращения – уменьшить число кадров до 10-12 1/с, а также уменьшить число уровней квантования до 8-16 ( $m = 3-4$ ).

Полученные результаты показывают, что информационный поток может быть очень значительным. С учетом перспективных требований по повышению точности и достоверности разведывательной информации, особенно при переходе на получение цветного видеоизображения, крупноформатные матрицы можно ожидать дальнейшего и весьма значительного увеличения информационного потока и, как следствие, повышения требований к информационной производительности составных частей системы – производительности специализированного вычислителя

блока управления, информационной скорости, объема бортового регистратора и радиолинии передачи данных между абонентами сети (группы).

В качестве примера системы, обеспечивающей взаимодействие (информационный обмен) в составе группы можно привести подсистему Match Guide (Rafael, Израиль), которая реализует функции точного наведения, маркирования объектов и навигации в реальном масштабе времени. Match Guide использует потоковое видео от информационных бортовых систем, осуществляет точное определение координат объектов на изображении и маркирует их в качестве целей для поражения, что позволяет осуществлять оперативное планирование нанесения ударов. Подсистема адаптирована к различным погодным условиям и типам ландшафта.

На рисунке 5 показан пример отображения городского ландшафта (справа) и его изображения с маркированными объектами, на которых символом + обозначены цели для поражения.

MatchGuide осуществляет информационный обмен между участниками группы, с разделением объектов на следующие категории: цели, угрозы, дружественные силы и объекты инфраструктуры. Выделенный и маркированный на дисплее объект передается остальным участникам и соответственно отображается у них вне зависимости от его ракурса наблюдения.



Рисунок 5 - Пример маркировки объектов подсистемой MatchGuide

### **Выводы**

Современные тенденции развития ЛА и их взаимодействие в составе единой системы боевого управления с техническими возможностями, позволяющими обеспечить групповое функционирование (решение задач по информационному взаимодействию, обмену между вертолетами, БЛА, ЛА и другими составными частями контуров) существенно увеличивает эффективность действий по сравнению с одиночным использованием ЛА, но также значительно усложняет процесс коллективного управления, состав и объем требуемого информационного обеспечения. Необходима разработка алгоритмов взаимодействия, способов обмена, функционирования, согласованной работы, синхронизации действий в составе однородной, разнородной группы в интересах достижения синергетического эффекта при условии сохранения общего целевого назначения, в том числе с использованием ТСР (в т.ч. ОЭС). При этом ОЭС, для решения задач воздушной разведки, должна обладать возможностью информационного обмена различного

рода данными (тип объекта, точные координаты распознанных объектов, целеуказание, логика, последовательность применения, выбор оружия и др.).

Кроме того, бортовые ОЭС должны обладать гибкими возможностями корректировки, синтеза новых и интеграции запланированных задач поиска, обнаружения и опознавания объектов. Чередование режимов активного и пассивного поиска и сопровождения объектов, а также спектральных диапазонов работы способны значительно повысить характеристики ОЭС в реальных условиях их применения.

Таким образом, для расширения возможностей бортовых ОЭС по ведению воздушной разведки необходимо реализация следующих направлений развития:

- построение системы на основе функционально - конструктивных унифицированных подсистем и модулей;
- многоканальность (с комплексированием разноспектральных изображений);
- использование гиперспектрального канала для обнаружения, распознавания скрытых, замаскированных объектов;
- интеллектуализация функционирования (автоматическое распознавание);
- интеграция отдельных подсистем и каналов (оптическая, механическая, электронная);
- автоматизация процессов взаимной юстировки каналов, встроенного контроля и диагностики неисправностей;
- автоматическое слежение за площадными, точечными объектами, с выделением и дальнейшим слежением за несколькими целями;
- высокоточная стабилизация линии визирования;

– сопряжение с датчиками получения разнородной информации (навигационная система, РЛС и другие бортовые системы);

– высокая степень использования цифровых методов обработки информации.

– формирование выходных данных от различных сенсоров для обработки и решения задач распознавания;

– обеспечение группового взаимодействия (обмен информацией, передача на пункты управления) в составе различных контуров управления.

Бортовые ОЭС должны обеспечивать работоспособность в любое время суток, в любых погодных условиях и при наличии искусственных помех, т.е. они должны иметь в своем составе несколько информационных каналов, работающих в разных диапазонах спектра электромагнитного излучения, отличающихся друг от друга принципами работы, спектральными характеристиками, качеством передачи изображения.

В перспективе функционально связанные каналы технического зрения должны образовывать интегрированную адаптивную ОЭС, обладающую свойством перестроения структуры, состава в целях рационального выбора и использования ее составных частей для решения как штатных, так и разведывательных задач поиска, обнаружения, распознавания и вскрытия замаскированных объектов (целей).

### **Список источников**

1. Бельский А.Б. Перспективные исследования и инновационные разработки для новой вертолётной техники // Фотоника. 2013. № 4. С. 66-74.
2. Бельский А.Б., Жосан Н.В., Гребенщиков В.Г. и др. Лазерные локационные

системы для повышения безопасности полётов вертолётов // Фотоника. 2013. № 5. С. 66-75.

3. Бельский А.Б. Оптико-электронные и лазерные системы в современных и перспективных комплексах бортового оборудования вертолётов // Фотоника. 2012. № 6. С. 26-31.

4. Бельский А.Б., Сахаров Н.А. Решение задачи алгоритмического определения параметров движения цели на основе теории фильтрации Калмана-Бьюси // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2019. № 108. С. 103-110.

5. Бельский А.Б., Сахаров Н.А. Решение задачи определения скорости и ускорения цели при маневрировании летательного аппарата и цели // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2020. № 2(112). С. 52-58.

6. Бельский А.Б., Ефремов Е.Е, Вагин А.Ю., Пальченко А.А., Сизов А.В. Основные тенденции развития перспективных винтокрылых летательных аппаратов на долгосрочную перспективу. Основные признаки ВКЛА следующего поколения // Вестник научно-технического совета Военно-промышленной комиссии Российской Федерации. 2021. № 3. С. 29-37.

7. Сельвесюк Н.И., Веселов Ю.Г., Гайденков А.В., Островский А.С. Оценка характеристики обнаружения и распознавания объектов на изображении от специальных оптико-электронных систем наблюдения летного поля Труды МАИ. 2018. № 103. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=100782>

8. Шипко В.В. Помехоустойчивое комплексирование мульти- и гиперспектральных изображений в оптико-электронных комплексах информационного обеспечения

современных и перспективных вертолетов // Труды МАИ. 2020. № 110. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=112863>. DOI: [10.34759/trd-2020-110-12](https://doi.org/10.34759/trd-2020-110-12)

9. Чернецкая И.Е., Спевакова С.В. Мультиспектральное оптико-электронное устройство для автономной мобильной платформы экологического мониторинга // Труды МАИ. 2020. № 114. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=119001>. DOI: [10.34759/trd-2020-114-14](https://doi.org/10.34759/trd-2020-114-14)

10. Бельский А.Б. и др. Способ получения изображений с повышенным разрешением и оптико-электронная система для его осуществления: изобретение // Патент № 100341, 23.04.2010.

11. Бельский А.Б., Филиппов С.П. Устройство автоматического слежения за целью с вводом упреждения в канале вертикального наведения // Патент № 81226, 14.06.2008.

12. Якушенков Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения. - М.: Логос, 2013. - 376 с.

13. Лазарев Л.П. Оптико-электронные приборы наведения. – М.: Машиностроение, 1989. – 512 с.

14. Авиационные прицельно-навигационные системы / Под ред. А.М. Краснова. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2006. – 623 с.

15. Краснов А.М. Основы анализа и синтеза авиационных прицельно-навигационных систем. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2009. – 318 с.

16. Краснов А.М., Моисеев А.Г. Авиационные прицельно-навигационные системы. Интегрированные интерактивные авиационные прицельные системы. Ч. 1. - М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003. – 360 с.

17. Широкоград А.Б. Российская авиация в боях за Сирию. – М.: Вече, 2016. – 384 с.
18. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника. Методы и приложения. –Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
19. Калабухова Е.П. Основы теории эффективности воздушной стрельбы и бомбометания. – М: Машиностроение, 1991. – 330 с.
20. Агеев В.М., Павлова Н.В. Приборные комплексы летательных аппаратов и их проектирование. – М.: Машиностроение, 1990. – 432 с.

## References

1. Bel'skii A.B. *Fotonika*, 2013, no. 4, S. 66-74.
2. Bel'skii A.B., Zhosan N.V., Grebenshchikov V.G. et al. *Fotonika*, 2013, no. 5, pp. 66-75.
3. Bel'skii A.B. *Fotonika*, 2012, no. 6, pp. 26-31.
4. Bel'skii A.B., Sakharov N.A. *Izvestiya Rossiiskoi akademii raketnykh i artilleriiskikh nauk*, 2019, no. 108, pp. 103-110.
5. Bel'skii A.B., Sakharov N.A. *Izvestiya Rossiiskoi akademii raketnykh i artilleriiskikh nauk*, 2020, no. 2(112), pp. 52-58.
6. Bel'skii A.B., Efremov E.E, Vagin A.Yu., Pal'chenko A.A., Sizov A.V. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo soveta Voенno-promyshlennoi komissii Rossiiskoi Federatsii*, 2021, no. 3, pp. 29-37.
7. Sel'vesyuk N.I., Veselov Yu.G., Gaidenkov A.V., Ostrovskii A.S. *Trudy MAI*, 2018, no. 103. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=100782>

8. Shipko V.V. *Trudy MAI*, 2020, no. 110. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=112863>. DOI: [10.34759/trd-2020-110-12](https://doi.org/10.34759/trd-2020-110-12)
9. Chernetskaya I.E., Spevakova S.V. *Trudy MAI*, 2020, no. 114. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=119001>. DOI: [10.34759/trd-2020-114-14](https://doi.org/10.34759/trd-2020-114-14)
10. Bel'skii A.B. et al. *Patent 100341*, 23.04.2010.
11. Bel'skii A.B., Filippov S.P. *Patent 81226*, 14.06.2008.
12. Yakushenkov Yu.G. *Osnovy optiko-elektronnogo priborostroeniya* (Fundamentals of optoelectronic instrumentation), Moscow, Logos, 2013, 376 p.
13. Lazarev L.P. *Optiko-elektronnye pribory navedeniya* (Optical-electronic guidance devices), Moscow, Mashinostroenie, 1989, 512 p.
14. Krasnov A.M. *Aviatsionnye pritsel'no-navigatsionnye sistemy* (Aviation sighting and navigation systems): textbook. Moscow, VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 2006, 623 p.
15. Krasnov A.M. *Osnovy analiza i sinteza aviatsionnykh pritsel'no-navigatsionnykh system* (Fundamentals of analysis and synthesis of aviation sighting and navigation systems). Moscow, VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 2009, 318 p.
16. Krasnov A.M., Moiseev A.G. *Aviatsionnye pritsel'no-navigatsionnye sistemy. Integrirovannye interaktivnye aviatsionnye pritsel'nye sistemy* (Aviation sighting and navigation systems. Integrated interactive aviation sighting systems). Part 1. Moscow, VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 2003, 360 p.
17. Shirokorad A.B. *Rossiiskaya aviatsiya v boyakh za Siriyu* (Russian aviation in the battles for Syria), Moscow, Veche, 2016, 384 p.
18. Nikolaev V.I., Bruk V.M. *Sistemotekhnika. Metody i prilozheniya* (System Engineering. Methods and applications), Leningrad, Mashinostroenie, 1985, 199 p.

19. Kalabukhova E.P. *Osnovy teorii effektivnosti vozdushnoi strel'by i bombometaniya* (Fundamentals of the theory of the effectiveness of aerial shooting and bombing), Moscow, Mashinostroenie, 1991, 330 p.

20. Ageev V.M., Pavlova N.V. *Pribornye komplekсы letatel'nykh apparatov i ikh proektirovanie* (Instrument complexes of aircraft and their design), Moscow, Mashinostroenie, 1990, 432 p.

Статья поступила в редакцию 28.03.2022; одобрена после рецензирования 04.04.2022; принята к публикации 20.04.2022.

The article was submitted on 28.03.2022; approved after reviewing on 04.04.2022; accepted for publication on 20.04.2022.