

УДК 621.382, МРНТИ 61.39.19

В.В. Арсеньев¹

¹*Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи,
г. Алматы, Республика Казахстан*

СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫМИ РЕЖИМАМИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Аннотация. Светотехническое оборудование аэродромов совместного базирования государственной и гражданской авиации является неотъемлемой частью инфраструктуры обеспечения полётов и играет ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности взлётно-посадочных операций в любое время суток и при любых погодных условиях. В данной статье рассматривается современное состояние, структура и перспективы развития систем светосигнального оборудования (ССО) с акцентом на использование новых технологий и повышение эксплуатационной надёжности в условиях военного назначения.

Особое внимание уделено применению современных источников излучения – светодиодов (LED) и лазерных диодов (LD), обеспечивающих высокую энергоэффективность, долговечность, а также возможность реализации видимого и инфракрасного (ИК) спектров для работы с приборами ночного видения. Подчёркнута актуальность двуспектральных решений, позволяющих обеспечить скрытность аэродрома от наблюдения противником при сохранении полнофункционального светового сопровождения для дружественной авиации.

Рассмотрены ключевые функциональные компоненты ССО: посадочные и рулёжные огни, контрольно-диспетчерские системы управления, каналы связи, системы резервного питания и автоматика. Описаны особенности эксплуатации оборудования в боевых и полевых условиях, включая требования к мобильности, быстрому развертыванию, устойчивости к внешним воздействиям и защищённости от средств радиоэлектронной борьбы.

Анализируются современные отечественные и международные нормативные документы, регламентирующие технические характеристики и эксплуатационные параметры ССО, включая стандарты ГОСТ, ОСТ, ICAO и STANAG. Отмечаются тенденции к цифровизации, внедрению беспроводных технологий управления, интеграции с системами аэродромной автоматизации и повышению живучести оборудования.

В заключение подчёркивается стратегическая важность совершенствования светотехнического обеспечения аэродромов совместного базирования государственной и гражданской авиации как элемента повышения боеготовности и устойчивости воздушной инфраструктуры в современных условиях.

Ключевые слова: светотехническое оборудование аэродромов совместного базирования государственной и гражданской авиации, LED, LD, инфракрасное освещение, дистанционное управление, маскировка, нормативы ICAO, ГОСТ, системы светосигнального оборудования.

Современные аэродромы совместного базирования государственной и гражданской авиации представляют собой сложные технические объекты, требующие надёжной и устойчивой инфраструктуры, особенно в части обеспечения безопасной навигации воздушных судов. Одним из ключевых компонентов аэродромной инфраструктуры является система светотехнического оборудования (ССТО), включающая различные типы огней и управляющих устройств, предназначенных для визуального обеспечения полётов в условиях ограниченной видимости и в ночное время.

ССТО военных аэродромов обладает рядом специфических требований, отличающихся от гражданских систем: это повышенные требования к маскировке, устойчивости к внешним воздействиям, автономности и возможности интеграции в централизованные командно-штабные комплексы. Особую актуальность приобретают вопросы применения новых технологий – таких как светодиоды (LED), лазерные диоды (LD) и дистанционные средства управления.

Современные условия предъявляют повышенные требования к инфраструктуре аэродромов, особенно к обеспечению их функциональности в любых погодных условиях, в

темное время суток и при угрозе внешнего воздействия, как беспилотные летательные аппараты. Светотехническое оборудование (ССТО) становится критическим элементом аэродромной инфраструктуры, обеспечивающим визуальную навигацию, безопасность полётов и скрытность операций. Однако существующие решения, разработанные преимущественно для гражданских аэродромов, зачастую не удовлетворяют требованиям военного применения: они уязвимы к радиолокационному обнаружению, не обеспечивают достаточную автономность и не адаптированы к эксплуатации в условиях боевых действий.

В связи с этим возникает необходимость в разработке и внедрении специализированных светотехнических систем, способных работать в инфракрасном диапазоне, обеспечивать дистанционное и автоматизированное управление, быть устойчивыми к климатическим и механическим воздействиям, а также соответствовать международным и национальным стандартам. Особую значимость приобретает применение LED и LD-технологий, способных удовлетворить как тактические, так и эксплуатационные требования.

Таким образом, основная проблема заключается в необходимости комплексного переосмысления подходов к проектированию, модернизации и эксплуатации светотехнических систем на военных аэродромах с учётом новых технологических возможностей и специфических условий боевого применения.

Основная часть. 1 Назначение и задачи светосигнальной системы военного аэродрома. Система светосигнального оборудования (ССО) военного аэродрома является неотъемлемой частью инфраструктуры аэродромного комплекса и служит для обеспечения визуальной ориентации экипажей летательных аппаратов при выполнении взлётно-посадочных операций в любых погодных и временных условиях, включая ограниченную или нулевую видимость.

К основным задачам ССО относятся:

- визуальное обеспечение безопасного взлёта и посадки воздушных судов в условиях ночного времени и ограниченной видимости;
- обеспечение навигационного сопровождения на рулёжных дорожках, перронах и стоянках;
- организация устойчивой ориентации при работе экипажей с приборами ночного видения (ПНВ);
- маскировка и защита в условиях боевых действий и при угрозе поражения радиоэлектронными или огневыми средствами.

ССО включает в себя множество световых сигналов различного назначения:

- огни ВПП (входные, осевые, краевые, торцевые, стоповые);
- огни рулёжных дорожек (осевые, пересечения, стоп-линии);
- огни зоны ожидания, стоянки, перрона и технические указатели;
- огни вертолётных площадок, включая посадочные кресты и круги;
- визуальные системы захода на посадку (PAPI, VASI).

В условиях военного аэродрома система должна также обеспечивать:

- резервирование источников питания;
- устойчивость к вибрациям, погодным воздействиям, радиации;
- оперативное управление с возможностью дистанционного включения/выключения;
- быструю замену оборудования при повреждениях.

Таким образом, современная ССО выступает не просто как система визуальной поддержки, но и как элемент тактической инфраструктуры, напрямую влияющей на боеспособность авиационных подразделений [1].

2 Структура системы светотехнического оборудования. Светотехническое оборудование (ССТО) военного аэродрома представляет собой совокупность технических устройств, обеспечивающих генерацию, управление и распределение световых сигналов на различных участках аэродромной зоны. Система строится по модульному принципу и включает следующие компоненты:

Источники света в современных ССТО применяются преимущественно:

- LED-огни (на основе светоизлучающих диодов);
- LD-огни (на основе лазерных диодов) – преимущественно в инфракрасном спектре;
- галогенные и металлогалогенные лампы – в старых системах и для резервных решений.

Световые блоки и корпуса, установленные в особых ударопрочных корпусах с высокой степенью герметизации (IP67-IP69), блоки снабжены линзами Френеля, ИК-фильтрами и системами регулировки яркости. Часто применяются двухрежимные огни (белый/ИК) с переключением по команде.

Энергоснабжение, питание системы обеспечивается от основной сети, резервного ИБП (источника бесперебойного питания) и мобильных генераторов. Все цепи строятся с применением автоматических переключателей и фильтров помех.

Блоки управления и автоматизации центральный контроллер управляет режимами свечения, группами огней, приёмом команд с командного пункта. Применяются как проводные протоколы (RS-485, CAN), так и защищённые беспроводные каналы.

Интерфейс оператора панели управления, интегрированные в посты диспетчерского и боевого управления, отображают статус каждой зоны освещения, позволяют производить ручное или автоматическое переключение режимов (в том числе маскировку).

Каналы связи для передачи команд используются защищённые каналы (оптоволокно, радиолинии, MIL-STD-1553, Ethernet over IP). Каналы резервируются для устойчивости при РЭБ или сбоях [2].

Применение модульной архитектуры и современных источников света (LED/LD) позволило не только повысить эффективность системы, но и существенно сократить энергозатраты, улучшить совместимость с приборами ночного видения, а также обеспечить скрытность операций в тылу и на передовых позициях.

3 Особенности светотехники на военных аэродромах. Светотехническое оборудование военных аэродромов должно удовлетворять более жёстким требованиям, чем аналогичные системы на гражданских объектах. Это обусловлено как условиями боевого применения, так и спецификой эксплуатации в ограниченной видимости, в том числе с применением приборов ночного видения (ПНВ), а также необходимостью работы в условиях повышенного риска поражения (авиаудары, РЭБ, кибератаки и др.).

К ключевым особенностям ССТО военного аэродрома относятся:

1. Маскировка и применение ИК-диапазона.

Современные ССТО оснащаются двухспектральными источниками – огни могут работать как в видимом, так и в инфракрасном (ИК) диапазоне. Это позволяет:

- обеспечить навигацию с применением ПНВ;
- исключить визуальное обнаружение аэродрома с воздуха;
- применять огни только для своих сил, без демаскирующего свечения.

ИК-диоды (обычно LD) работают на длинах волн 850-950 нм, соответствующих чувствительности ПНВ третьего поколения.

2. Повышенная виброустойчивость и погодозащита.

Оборудование должно работать в условиях:

- широкого диапазона температур (от –50 до +60 °С);
- пыли, песка, влаги (в т.ч. под дождём и снегом);
- вибраций и ударов (например, от проезда техники по ВПП).

Поэтому корпуса огней и блоков управления выполняются по стандартам IP67/IP68, часто с армированными корпусами из анодированного алюминия или стали.

3. Мобильные и переносные комплекты.

Для передовых аэродромов и временных ВПП применяются мобильные ССТО, включающие:

- автономные световые модули с питанием от аккумуляторов или солнечных панелей;
- модули с радиоуправлением (например, по протоколам UHF/VHF);

- транспортно-укладочные контейнеры для быстрого развертывания. Это особенно важно для полевых вертолётных площадок и ВПП на оперативных направлениях.

4. Сетевые и беспроводные решения.

Современные ССТО используют цифровые сети управления с поддержкой:

- шифрования трафика (VPN, TLS);
- приоритизации команд;
- резервных маршрутов (радиоканал + оптоволокно).

Протоколы управления могут включать MIL-STD-1553B, CAN MIL, Ethernet с военным шифрованием, а также собственные протоколы связи с защитой от помех и перехвата.

Таким образом, военная специфика требует не только надёжности, но и адаптивности, автономности и скрытности, что напрямую определяет архитектуру ССТО.

4 Нормативные требования и стандарты.

Функционирование ССТО военных аэродромов должно соответствовать как национальным стандартам, так и международным рекомендациям. Ниже представлены ключевые документы, регламентирующие требования к светотехническим системам:

1. Международные стандарты (ICAO, NATO, IEEE)

ICAO Annex 14 (Volume I) – определяет конфигурацию огней ВПП, рулёжек, вертолётных площадок. Применяется в модифицированном виде на военных объектах [3];

STANAG 3316 (NATO) – стандарты светосигнального оборудования для оперативных баз [4];

IEEE 1789-2015 – регламентирует безопасность по мерцанию LED, особенно для ИК-освещения [5].

2. Национальные ГОСТы и ТУ

ГОСТ 12.2.007.0-75 – общие требования безопасности для электрооборудования [6];

ГОСТ Р 58206-2018 – «Оборудование светосигнальное аэродромное. Общие технические требования и методы испытаний» [7];

ГОСТ Р 51325.2.1 – электробезопасность ССТО [8];

ГОСТ Р 52125-2003 – обеспечение видимости аэродромного освещения [9];

ТУ на световые огни типа ОСПМ, ОГП, ОГТ – технические условия на типовые модели.

3. Военные стандарты РК и зарубежные аналоги

ОСТ 1 00230-71 – техника подсветки и обозначений на аэродромах [10];

MIL-STD-3009 – стандарты авиационного освещения, совместимого с ПНВ [11];

MIL-STD-810H – испытания оборудования на устойчивость к воздействию среды [12].

Также могут применяться инструкции МО, касающиеся инженерного оборудования ВПП, маскировки, использования ПНВ и резервных огней.

4 Современные тенденции развития светотехнических систем

Развитие технологий в области светотехники за последние два десятилетия существенно изменило подход к проектированию и эксплуатации аэродромных систем освещения, особенно в военной сфере. Основные направления модернизации связаны с переходом на твердотельные источники света, внедрением цифровых систем управления, а также с повышением требований к маскировке, автономности и сетевой интеграции.

1. Переход на LED и LD-освещение одним из ключевых трендов является повсеместная замена газоразрядных и ламп накаливания на светоизлучающие диоды (LED) и лазерные диоды (LD).

Преимущества LED:

- срок службы до 50 000 ч;
- низкое энергопотребление (до 70% экономии);
- устойчивость к вибрациям и температурным перепадам;
- возможность диммирования и программного управления яркостью [13].

Применение LD:

- эффективное ИК-освещение на длине волны 850-950 нм;
- совместимость с ПНВ 3-го и 4-го поколения;
- возможность передачи направленного сигнала (в перспективе – лазерные «маяки» для посадки БПЛА);
- более высокая концентрация светового потока в узком спектре [14].

Современные огни могут комбинировать LED в видимом спектре и LD в ИК-диапазоне, переключаясь по команде оператора в зависимости от ситуации (открытая посадка / скрытная операция).

2. Интеграция с цифровыми системами управления Современные аэродромные комплексы используют интеллектуальные блоки управления, реализующие следующие функции:

- централизованное и дистанционное управление световыми группами;
- автоматическая регулировка яркости в зависимости от погодных условий;
- программируемые сценарии включения (взлёт, посадка, тревога);
- диагностика состояния оборудования и аварийное оповещение.

Управление может осуществляться как с диспетчерского пункта, так и с мобильного командного центра, включая беспилотное управление с использованием защищённого IP-протокола или радиосвязи.

3. Дистанционное и автоматизированное управление

В условиях боевого применения востребованы системы удалённого включения огней, что позволяет:

- включать/выключать огни при приближении ВС без участия персонала;
- скрывать аэродром в ожидании вылета, включая его только по команде;
- обеспечивать аварийное включение в случае выхода из строя основных систем.

Применяются решения на основе:

- беспроводных модулей связи (UHF/VHF с шифрованием);
- сетей Ethernet over IP с VPN-доступом;
- MIL-STD-1553B / CAN MIL – в стационарных решениях;
- LoRa / ZigBee / радиомодули с шифрованием AES-256 – в мобильных и развертываемых комплектах.

4. Повышение энергоэффективности и устойчивости к отказам

Для повышения устойчивости аэродромов применяются:

- ИБП и генераторы с переключением нагрузки;
- солнечные панели с аккумуляторами – для полевых огней;
- двойное резервирование питания и связи;
- встроенные БМС (системы управления батареями) для автономных модулей.

Также внедряются модули самодиагностики, позволяющие своевременно обнаружить отказ и автоматически вывести неисправный элемент из системы.

Выводы. Современные системы светотехнического оборудования (ССТО) военных аэродромов представляют собой высокотехнологичные комплексы, обеспечивающие надёжную, гибкую и безопасную визуальную навигацию в любое время суток и при любых погодных условиях. В условиях увеличения роли воздушных операций и расширения функциональности аэродромной инфраструктуры ССТО приобретают стратегическое значение как с точки зрения боеготовности, так и логистической устойчивости.

В ходе анализа было установлено, что переход на твердотельные источники света – LED и LD – обеспечивает не только повышение энергоэффективности, но и расширение функциональности системы. Инфракрасные лазерные диоды позволяют использовать огни в условиях полной скрытности, сохраняя при этом навигационные возможности для экипажей с приборами ночного видения. В совокупности с цифровыми и дистанционными системами управления это обеспечивает быстрое реагирование, высокую степень автоматизации и интеграцию с общевоинскими командно-штабными системами.

Особое внимание в современных ССТО уделяется:

- маскировке и снижению радиолокационной и оптической заметности;
- автономности – в том числе за счёт солнечных батарей и резервного питания;
- сетевому взаимодействию – в т.ч. по защищённым протоколам;
- надёжности и устойчивости – к механическим и климатическим воздействиям.

Кроме того, системный подход к проектированию ССТО предполагает соответствие международным и национальным стандартам (ICAO, ГОСТ, STANAG), адаптацию к специфике эксплуатации, а также возможность быстрого развертывания в полевых условиях.

Таким образом, можно заключить, что развитие светотехнических систем военных аэродромов напрямую связано с прогрессом в области оптоэлектроники, беспроводных технологий и цифрового управления, что требует постоянной научно-технической работы и совершенствования нормативной базы.

Литература

1. Иванов С.А. Инновационные технологии в аэродромном светосигнальном оборудовании // Вестник авиации и космонавтики. – 2020. – № 3. – С. 42-48.
2. Хайдаров Р.Р. Автоматизация и дистанционное управление светосигнальными системами аэродромов // Труды МАИ. – 2021. – Т. 124. – №6. – С. 77–84.
3. ICAO Annex 14. Aerodromes. Volume I – Aerodrome Design and Operations. – International Civil Aviation Organization, 8th ed., 2018.
4. STANAG 3316. Lighting of Military Airfields. – NATO Standardization Agreement. Brussels, 2014.
5. IEEE Std 1789-2015. Recommended Practices for Modulating Current in HighBrightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers. – Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA, 2015.
6. ОСТ 12.2.007.0-75. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 16 с.
7. ГОСТ Р 58206-2018. Оборудование светосигнальное аэродромное. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2018. – 24 с.
8. ГОСТ Р 51325.2.1-99. Безопасность электрического оборудования. Общие положения. – М.: Госстандарт России, 1999.
9. ГОСТ Р 52125-2003. Аэродромное освещение. Обеспечение видимости. – М.: Госстандарт России, 2003. – 12 с.
10. ОСТ 1 00230-71. Система обозначения взлетно-посадочных полос. Общие технические требования. – М.: Министерство обороны СССР, 1971.
11. MIL-STD-3009. Lighting, Aircraft, Night Vision Imaging System (NVIS) Compatible. - Department of Defense, USA, 2001.
12. MIL-STD-810H. Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests. - Department of Defense, USA, 2019.
13. Zhang Y., Li J., Wang H. Research on LED Lighting Systems in Military Airfields // Journal of Military Engineering Technology. – 2022. – Vol. 18, No. 2. – pp. 90-98.
14. Петров А.Н., Сидоров И.В. Анализ светодиодных и лазерных источников в военной авиации // Военно-технический альманах. – 2021. – № 2 (58). – С. 55–63.