

Сагитов Дамир Ильдарович

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. Главного
маршала авиации А.А. Новикова

Бакирова Полина Дмитриевна

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. Главного
маршала авиации А.А. Новикова

Королькова Мария Максимовна

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. Главного
маршала авиации А.А. Новикова

Экономическое обоснование выбора режима эксплуатации светосигнального оборудования аэродрома при временном снижении интенсивности полетов

Аннотация. Рассмотрена задача снижения эксплуатационных расходов на светосигнальное оборудование аэродрома в условиях временного уменьшения интенсивности полетов и неполной загрузки аэродромной инфраструктуры. Актуальность исследования связана с тем, что при снижении числа взлетно-посадочных операций сохранение прежнего режима эксплуатации всех элементов светосигнальной системы может приводить к избыточным затратам на электроэнергию, техническое обслуживание и ресурс оборудования. Предложена экономическая модель выбора режима эксплуатации светосигнального оборудования, позволяющая сопоставлять несколько вариантов: штатную эксплуатацию, частичное снижение нагрузки и временное ограничение использования отдельных элементов без нарушения требований к готовности аэродрома. В качестве ограничений заданы минимально допустимый уровень готовности светосигнальной системы и предельное время восстановления полной схемы перед возобновлением работы аэропорта в обычном режиме. Выполнен сценарный анализ для условного регионального аэропорта с одной ВПП. Показано, что рациональный режим эксплуатации должен определяться не только текущей экономией, но и риском задержки восстановления полной работоспособности оборудования.

Ключевые слова: экономика, аэропорт, светосигнальное оборудование, электросветотехническое оборудование, эксплуатационные расходы, ALCMS, LED, оптимизация расходов.

Sagitov Damir Ilydarovich

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after A.A. Novikov

Bakirova Polina Dmitrievna

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after A.A. Novikov

Korolkova Mariya Maksimovna

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after A.A. Novikov

Economic Justification for Selecting the Operating Mode of Airfield Lighting Equipment Under Temporary Reduction of Flight Intensity

Abstract. The problem of reducing operating costs for aerodrome lighting equipment under a temporary decrease in flight intensity and incomplete utilization of aerodrome infrastructure is considered. The relevance of the study is determined by the fact that, when the number of takeoff and landing operations decreases, maintaining the previous operating mode of all lighting system elements may lead to excessive costs for electricity, maintenance, and equipment service life. An economic model for selecting the operating mode of aerodrome

lighting equipment is proposed. The model makes it possible to compare several options: standard operation, partial load reduction, and temporary limitation of the use of selected elements without violating aerodrome readiness requirements. The minimum permissible readiness level of the lighting system and the maximum recovery time of the full configuration before the airport resumes normal operation are specified as constraints. A scenario analysis is carried out for a conditional regional airport with one runway. It is shown that the rational operating mode should be determined not only by current cost savings, but also by the risk of delayed recovery of full equipment operability.

Keywords: economic, airport, aerodrome lighting equipment, electrical lighting equipment, operating costs, ALCMS, LED, cost optimization.

Введение

Светосигнальное оборудование аэродрома относится к числу важных элементов наземной инфраструктуры, поскольку его исправность и возможность бесперебойной работы влияют на возможность выполнения полетов в ночное время или, например, при ограниченной видимости. Эти системы рассматриваются как единый комплекс, включающий аэродромные огни, цепи электропитания, регуляторы яркости огней, устройства автоматического ввода резерва и средства контроля [1, 2]. Нормативные документы устанавливают, что аэродромная инфраструктура должна содержаться в исправном состоянии, а ее эксплуатация обязана соответствовать требованиям к аэродромам [3, 4].

Эксплуатация светосигнальных систем имеет выраженное экономическое значение. По данным Министерства Транспорта РФ, в 2024 году сохранялись временные ограничения полетов в ряде аэропортов юга и центральной части страны [5]. В июле 2025 года Правительство РФ приняло решение о дополнительном выделении средств на частичное возмещение расходов аэропортов, работающих в условиях ограничений [6]. Для эксплуатанта это значит, что при снижении числа рейсов существенная часть затрат все равно не исчезает. Нужно поддерживать в рабочем состоянии кабельные линии, изолирующие трансформаторы, регуляторы яркости, щиты и шкафы управления, устройства автоматического ввода резерва, резервные источники электропитания и аппаратуру контроля светосигнальной системы, а также обеспечивать готовность персонала и возможность быстрого перевода светосигнальной системы из режима пониженной нагрузки в штатный режим. Полное отключение части оборудования в такой ситуации не поможет, поскольку может увеличить время восстановления системы и создать дополнительные риски при возобновлении полетов.

Помочь снизить затраты обычно помогает не сокращение числа включенных огней, а рациональный выбор режимов работы светосигнальной системы и порядок ее обслуживания. В материалах FAA сказано, что система Airport Lighting Control and Monitoring System (ALCMS – далее) позволяет упростить управление светосигнальными средствами и контроль их состояния [7]. Также внедрение LED-оборудования, дистанционного мониторинга, профилактического обслуживания и учет фактических режимов нагрузки оборудования имеет значимый экономический эффект [7].

Задача данной статьи – разработка модели, которая позволит оценить, какой режим эксплуатации светосигнального оборудования обеспечивает минимальные расходы при сохранении требуемого уровня готовности системы к обеспечению полетов. То есть, построить экономическую модель и продемонстрировать на примере, как выбор режима работы, периодичность планового технического обслуживания и объема резервного электропитания влияет на эксплуатационные расходы.

Материалы и методы

Рассматривается обычный электросветотехнический комплекс условного регионального аэропорта с одной взлетно-посадочной полосой (ВПП), одной рулежной дорожкой (РД) и ограниченным набором перронных огней. В модель включены четыре

группы элементов: огни ВПП и световые средства подхода, огни РД, электрические указатели и сопутствующие световые средства, оборудование электропитания и регулирования яркости, средства сигнализации, резервного электропитания и мониторинга состояния оборудования.

Параметрами являются среднее число взлетов и посадок в сутки N , доля ночных и сумеречных взлетов и посадок q , тариф на электроэнергию τ , состав оборудования по выделенным выше группам i , минимально допустимый уровень готовности системы к обеспечению полетов $G_{\min}$ (то есть минимально допустимый объем работоспособных светосигнальных средств, достаточный для использования аэродрома, измеряется в долях единицы или процентах от полной работоспособности светосигнальной системы) и максимально допустимое время перевода светосигнальной системы из режима «энергосбережения» в штатную полную конфигурацию $T_{\max}$ (которое задается в модели заранее и показывает, за какое максимальное время система должна быть полностью подготовлена к работе).

В качестве переменных, которые эксплуатант изменяет при выборе режима работы системы, приняты: x_1 – та часть оборудования, которая работает в режиме пониженной нагрузки (измеряется в процентах), x_2 – интервал между работами (измеряется в часах), x_3 – доля резервных источников питания, сохраняемых в готовности (также измеряется в процентах), x_4 – наличие системы удаленного контроля состояния оборудования, например ALCMS (переменная принимает значение 1 при ее использовании и 0, когда она не используется или ее вовсе нет).

Эксплуатационные расходы за расчетный период предлагаем определять выражением (1):

$$Z = C_{\text{эн}} + C_{\text{пл}} + C_{\text{ав}} + C_{\text{рез}}$$

где Z (руб) – суммарные эксплуатационные расходы, $C_{\text{эн}}$ – затраты на электроэнергию, $C_{\text{пл}}$ (руб) – затраты на техобслуживание, $C_{\text{ав}}$ (руб) – затраты на аварийные выезды, поиск неисправностей и восстановление отказов, $C_{\text{рез}}$ (руб) – затраты на поддержание резервной системы и персонала.

Энергетическую составляющую рассчитываем по формуле (2):

$$C_{\text{эн}} = \sum_i (P_i \cdot t_i \cdot \tau \cdot x_i)$$

где P_i – мощность i -й группы оборудования (кВт), t_i – время работы этой группы за расчетный период (ч.), τ – тариф на электроэнергию (руб/кВт*ч), x_i – коэффициент использования оборудования i -группы в выбранном режиме (в долях 1). Отсюда следует – снижение затрат возможно за счет уменьшения времени работы отдельных подсистем, уменьшения числа одновременно активных контуров или применения более выгодных источников света.

Затраты на плановое обслуживание и аварийное восстановление предлагаем определять выражениями (3) и (4):

$$C_{\text{пл}} = \sum_i \left(\frac{n_i \cdot c_{\text{пл},i}}{T_{\text{пл},i}} \right)$$

$$C_{\text{ав}} = \sum_i (\lambda_i(T_{\text{пл},i}, x_4) \cdot c_{\text{ав},i})$$

где n_i – количество единиц оборудования i -й группы (единиц), $c_{\text{пл},i}$ – средняя стоимость одного планового обслуживания (руб.), $T_{\text{пл},i}$ – интервал между обслуживаниями (сут.), λ_i – ожидаемая интенсивность отказов, зависящая от принятого интервала обслуживания и наличия дистанционного наблюдения за системами x_4 (единиц), $c_{\text{ав},i}$ – средняя стоимость одного аварийного восстановления (руб.). Параметр x_4 позволяет учесть такую ситуацию, когда часть отказов выявляется средствами наблюдения раньше, еще до отказа.

Каждый режим также описывается двумя ограничениями. Первое связано с допустимой готовностью системы к обеспечению полетов:

$$G = \sum_i (w_i \cdot x_i) \geq G_{min}$$

где w_i – коэффициент «важности» i -й группы оборудования для обеспечения полетов. Этот коэффициент позволит учесть то, что отдельные группы светосигнального оборудования по-разному влияют на возможность выполнения полетов.

Второе ограничение относится ко времени перевода системы в обычный режим перед возобновлением полетов:

$$T_{восст} = T_{пер} + T_{тест} + T_{перс} \leq T_{max}$$

где $T_{пер}$ – время подключения нужного оборудования и его последующего перевода в рабочий режим, $T_{тест}$ – время контрольной проверки работоспособности после включения, $T_{перс}$ – время, необходимое для прибытия и действий персонала. Все измеряется в часах.

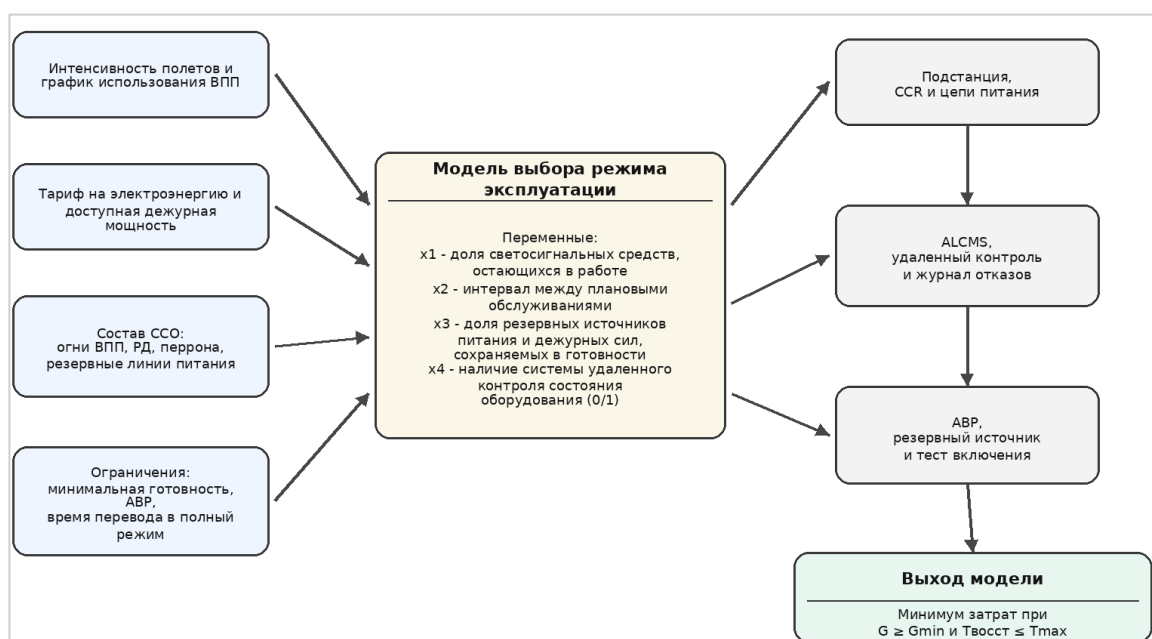


Рис. 1 – Схема выбора режима работы светосигнального оборудования аэродрома

Логика того, как работает модель приведена на рис. 1. Выбор экономически оптимального режима работы определяется тем, как организовано резервное питание, управление всей системой и контроль ее состояния.

Результаты

Рассмотрим пример (табл. 1). В начальном состоянии светосигнальная система работает по обычной схеме, а интенсивность полетов принята за единицу. Затем зададим период снижения воздушного движения до 0,35 от начального уровня. Выберем три варианта работы системы. «Нулевой» – работа по обычной схеме, «Уменьшенный» – происходит уменьшение числа включенных светосигнальных средств без системы удаленного контроля состояния оборудования, «Комбинированный» – это вариант, при котором используется выборочное включение светосигнальных средств, увеличение интервала между плановыми обслуживаниями и система ALCMS.

Таблица 1

Результаты расчета					
Пример	Доля работающих светосигнальных средств x_1 , доли ед.	Интервал между плановыми обслуживаниями	Резерв	Нормированные расходы Z , доли ед.	Время перевода обратно в полный режим Твосст, мин
Нулевой	1	базовый	полный	1,00	5
Уменьшенный	0,62	без изменения	сокращено по некритическим элементам	0,87	19
Комбинированный	0,68	увеличен на 20%	полный для критических эл.цепей	0,79	8

Из табл. 1 видно, что «Уменьшенный» вариант снижает затраты в основном за счет меньшего расхода электроэнергии, но при этом заметно увеличивает время перевода системы в полный режим. Для аэропорта не считаем рациональным такой вариант.

Вариант «Комбинированный» дает лучший результат. Снижение расходов связано с более ранним обнаружением неисправностей и меньшим числом выездов аварийных бригад. Сохранение рабочего состояния критических цепей позволяет не выйти за допустимое время перевода системы в обычный режим работы.

Заключение

Для российских аэропортов предложенная модель может быть полезна тем, что позволит сравнивать варианты эксплуатации светосигнального комплекса в периоды неравномерной загрузки. Если дополнительно учесть затраты на LED-оборудование и ALCMS, ее можно использовать и для оценки окупаемости таких решений.

Список источников

1. Аронов О. Н. Светотехническое оборудование аэродромов : метод. указания по изучению дисциплины. - Ульяновск : УВАУ ГА(И), 2009. - 27 с. - URL: https://lib.ulstu.ru/venec/disk/2015/Aronov_4.pdf (дата обращения: 02.04.2026).
2. Булыгин Р. С. Электросветотехническое оборудование аэродромов : методические указания по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы. - Санкт-Петербург : Университет ГА, 2018. - 13 с. - URL: https://spbguga.ru/files/2018/ZF/Metod_materiali/Elektrosvetoteh_oborudov_aerodromov.pdf (дата обращения: 02.04.2026).
3. Доклад о результатах деятельности Минтранса России за 2024 год, целях и задачах на 2025 год и плановый период до 2027 года. - Москва, 2025. - 40 с. - URL: <https://mintrans.gov.ru/file/529090> (дата обращения: 02.04.2026).
4. Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования, предъявляемые к аэродромам, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки гражданских воздушных судов» : приказ Минтранса России от 25.08.2015 № 262. - URL: <https://favt.gov.ru/public/materials/5/b/8/0/0/5b80059ee2c324e982daec15db67bd00.pdf> (дата обращения: 02.04.2026).
5. Правительство Российской Федерации. Решения, принятые на заседании Правительства 17 июля 2025 года. - URL: <https://government.ru/news/55688/> (дата обращения: 02.04.2026).
6. Руководство по соблюдению обязательных требований при осуществлении государственного контроля (надзора) в сфере гражданской авиации. - 2025. - 31 с. - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411872462/> (дата обращения: 02.04.2026).

7. ACRP Report 148: LED Airfield Lighting System Operation and Maintenance. - Washington, DC : Transportation Research Board, 2015. - 90 p. - URL: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/3524.pdf> (date of access: 02.04.2026).

Сведения об авторах

Сагитов Дамир Ильдарович, кандидат технических наук, доцент кафедры №13 «Систем автоматизированного управления», Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова, Санкт-Петербург, Россия

Бакирова Полина Дмитриевна, студент 2 курса, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова, Санкт-Петербург, Россия.

Королькова Мария Максимовна, студент 2 курса, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова, Санкт-Петербург, Россия.

Information about the authors

Sagitov Damir Ilydarovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department No. 13 'Automated Control Systems', Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A. A. Novikov, Saint Petersburg, Russia

Bakirova Polina Dmitrievna, 2nd year student, Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A. A. Novikov, Saint Petersburg, Russia.

Korolkova Mariya Maksimovna, 2nd year student, Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A. A. Novikov, Saint Petersburg, Russia.

