

*Рипинчик Яков Васильевич, магистрант,  
ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова  
Россия, г. Санкт-Петербург*

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АЭРОДРОМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ В СОВРЕМЕННЫХ АЭРОПОРТАХ**

***Аннотация.** В статье рассматривается трансформация аэродромного обеспечения полетов под влиянием цифровых и автономных технологий. Основное внимание уделено ключевым инновациям, повышающим безопасность, эффективность и экологичность работы современного аэропорта. Подробно описаны интеллектуальные системы освещения и навигации (A-SMGCS, встроенные индикаторы), а также передовые методы мониторинга и содержания летного поля. Особый акцент сделан на работе высокоточной техники с GPS-навигацией (автогрейдеры, снегоочистители), функционирующей на основе цифровых моделей аэродрома. Статья определяет вызовы внедрения и выделяет перспективные направления развития, такие как полная электрификация и применение искусственного интеллекта для автономного управления инфраструктурой.*

***Ключевые слова:** Инновационные технологии; аэродромное обеспечение полетов; роботизация аэропортов; автономная техника; GPS-навигация; автогрейдер; снегоочиститель; беспилотные летательные аппараты (БПЛА); интеллектуальное освещение ВПП; содержание летного поля.*

## **INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR AIRPORT SUPPORT OF FLIGHTS IN MODERN AIRPORTS**

**Annotation.** *The article examines the transformation of airfield support for flights under the influence of digital and autonomous technologies. The main focus is on key innovations that improve the safety, efficiency, and environmental friendliness of modern airports. The article provides a detailed description of intelligent lighting and navigation systems (A-SMGCS, embedded indicators), as well as advanced methods for monitoring and maintaining the airfield. Special attention is given to the use of high-precision GPS-guided equipment (graders, snowplows) that operates based on digital models of the airfield. The article identifies implementation challenges and highlights promising areas of development, such as full electrification and the use of artificial intelligence for autonomous infrastructure management.*

**Key words:** *Innovative technologies; airfield support for flights; airport robotization; autonomous equipment; GPS navigation; road grader; snowplow; unmanned aerial vehicles (UAVs); intelligent runway lighting; airfield maintenance.*

Эффективность и безопасность работы современного аэропорта напрямую зависят от уровня развития систем аэродромного обеспечения полетов[2,12]. Эта комплексная сфера включает освещение, навигацию, метеорологическое обеспечение, контроль состояния ВПП, уборку снега и многое другое. В условиях растущего пассажиропотока и ужесточения экологических норм традиционные подходы становятся недостаточными. На помощь приходят инновационные технологии, трансформирующие инфраструктуру и процессы на земле для обеспечения бесперебойности полетов в небе[4,10].

#### 1. Интеллектуальные системы освещения и навигации

- Светодиодные системы с адаптивным управлением: Полный переход на светодиодное освещение ВПП, РД и перронов позволяет экономить до 70% энергии. «Умные» системы, такие как A-SMGCS (Расширенная система управления движением на наземной части аэродрома), дистанционно регулируют интенсивность света в зависимости от погоды, видимости и

времени суток, а также подсвечивают маршрут следования конкретного воздушного судна[1,5].

- Встроенные в покрытие световые индикаторы (In-Pavement Lighting): Технология, при которой световые элементы интегрируются непосредственно в бетон или асфальт. Это повышает износостойкость, упрощает уборку снега и открывает возможности для динамической разметки[3].

- Системы Enhanced Flight Vision System (EFVS) и Synthetic Vision System (SVS): Хотя эти системы установлены на борту, их эффективность зависит от наземной инфраструктуры, включая прецизионные антенны и совместимые системы посадки, позволяющие выполнять заходы в сложных метеоусловиях[1].

## 2. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА/дроны):

- Инспекция полос и инфраструктуры: Дроны с камерами высокого разрешения и лидарами оперативно обследуют покрытие ВПП, проверяют огни и высотные объекты, составляя 3D-карты и выявляя повреждения[7,8].

- Птицеотпугивание: Автономные дроны патрулируют периметр аэродрома по заданным маршрутам, минимизируя риск столкновений с птицами (Bird Strike)[3,7].

- Доставка оборудования: Экспериментально тестируется доставка срочных мелких грузов (например, запчастей) в удаленные точки аэродрома[7].

## 3. Мониторинг и содержание летного поля

- Системы контроля состояния покрытия ВПП (Runway Condition Assessment): Датчики, встроенные в полосу (влажность, температура, наличие химических реагентов), и мобильные системы сканирования в реальном времени оценивают коэффициент сцепления и наличие загрязнений. Данные интегрируются в систему NOTAM (Извещения летному составу) и автоматически передаются экипажам[11].

- «Умная» уборка снега и льда: Автогрейдеры и снегоочистители с GPS-навигацией и системой компьютерного зрения работают по точным цифровым картам, оптимизируя маршруты. Распыление антиобледенительных реагентов дозируется автоматически на основе данных метеодатчиков[8,9].

- Материалы нового поколения: Использование высокопрочного бетона с нано-добавками, самоуплотняющихся и быстротвердеющих составов для ремонта, а также фото- и термокаталитических покрытий, способных разлагать загрязняющие вещества под действием солнца[3].

Более подробно рассмотрим автогрейдеры и снегоочистители с GPS-навигацией. Традиционная уборка снега и выравнивание покрытия (планёжка) на обширных площадях летного поля — задача, требующая высочайшей квалификации машинистов и координации между несколькими единицами техники. Инновация заключается в превращении тяжелой спецтехники в автономные или полуавтономные роботизированные комплексы, управляемые цифровыми картами и спутниковыми сигналами[8,9].

Ключевые компоненты системы:

1. Высокоточная GNSS/GPS-аппаратура с коррекцией (RTK — Real Time Kinematic), обеспечивающая точность позиционирования до 1-2 сантиметров[9].

2. 3D-цифровая модель летного поля (Digital Terrain Model — DTM), содержащая точные координаты, высоты и границы всех объектов: ВПП, РД, перронов, светосигнального оборудования[12].

3. Бортовой компьютер и система автоматического управления (АСУ) гидравликой рабочего органа (отвала, ножа, фрезы)[9].

4. Система машинного зрения (камеры, лидары) для обнаружения препятствий и обеспечения безопасности[8].

Принцип работы и функциональные возможности

1. Планирование и постановка задач

- Диспетчер в Центре управления аэродромом (АРОС) на цифровой модели аэродрома задает зону обработки (например, полосу шириной 30 метров на РД "В")[10,12].

- Система автоматически рассчитывает оптимальный маршрут проходов техники, исключая "мёртвые зоны" и минимизируя холостые пробеги. При уборке снега учитывается направление ветра для минимизации заносов.

- Задача с параметрами (требуемая толщина снятия слоя снега, угол наклона отвала, конечная ровность покрытия) передается по беспроводной сети на бортовые компьютеры техники[9].

## 2. Режимы работы техники

- Режим "автопилот" (полная автоматизация): Машина следует по заданному маршруту. Система АСУ в реальном времени корректирует положение рабочего органа, сверяя текущее положение (по GPS) с заданной в модели высотой. Это позволяет точно выдерживать заданный уклон покрытия (например, для стока воды) и снимать строго необходимый слой снега или грунта[8,9].

- Режим "совмещенного управления": Машинист контролирует движение и общую ситуацию, а система автоматически управляет только рабочим органом, обеспечивая невероятную точность. Это снимает с оператора тяжелую монотонную нагрузку и исключает человеческий фактор в части качества выполнения работы[6,9].

- Режим каравана (Platooning): Несколько единиц техники (например, мощный плужный снегоочиститель в голове и два автогрейдера сзади) могут работать синхронно, связанные единой цифровой задачей. Ведущая машина передает данные о маршруте и скорости ведомым, что критически важно при ликвидации интенсивных снежных заносов[8].

## 3. Контроль результата в реальном времени

- Датчики на технике (ультразвуковые, лазерные) постоянно измеряют фактическую высоту снежного покрова или ровность очищенного покрытия[11].

- Эти данные в режиме реального времени передаются в АРОС и накладываются на цифровую модель, создавая карту выполнения работ (карту остаточной толщины снега)[11].

- Диспетчер видит, какие зоны обработаны полностью, а где требуется дополнительный проход. Это исключает субъективную оценку "на глаз"[10].

Преимущества и практическая польза для аэропорта. Соблюдение нормативов по ровности и шероховатости покрытия ВПП/РД. Гарантированное удаление снега/льда до заданного уровня[2]. Работа 24/7 в любых метеоусловиях (в тумане, метель). Точное дозирование антиобледенительных реагентов и топлива. Минимизация износа покрытия за счет снятия только необходимого слоя. Исключение выхода техники за пределы рабочей зоны (в т.ч. на газоны, к огням). Снижение нагрузки на оператора уменьшает риск ошибок из-за усталости. Автоматическое формирование цифрового отчета о проведенных работах: маршруты, время, объемы убранного снега, достигнутые параметры покрытия[10].

Перспектива — это переход к полностью автономным паркам техники, управляемым единым искусственным интеллектом аэропорта, который на основе прогнозов погоды самостоятельно планирует и запускает превентивные работы по содержанию летного поля, минимизируя человеческое вмешательство до уровня контроля и стратегического управления[4,10].

Внедрение инновационных технологий ведет к беспрецедентному уровню безопасности, прогнозируемости и экологичности работы аэропортов. Это создает фундамент для дальнейшего роста авиации, делая ее более устойчивой, эффективной и готовой к вызовам будущего, где плотность полетов будет неизмеримо выше, а требования к точности и надежности —

еще строже. Аэропорт будущего — это не только новые терминалы, но в первую очередь «умное» и технологичное летное поле[12].

### Список использованных источников:

1. Международная организация гражданской авиации (ИКАО). Doc 9981 «Руководство по системам управления наземным движением (A-SMGCS)». — Montreal, 2020.
2. Федеральные авиационные правила (ФАП). «Требования к аэродромному обеспечению полетов в гражданской авиации». — М.: Росавиация, 2021.
3. Airport Cooperative Research Program (ACRP). Report 213: «Innovative Airport Responses to Threatened and Endangered Species». — Washington: Transportation Research Board, 2020. — (Включает разделы по инновационным технологиям мониторинга и робототехники).
4. Snow, M., Napper, R. «Smart Airports: Transforming the Passenger Experience Through Technology». — John Wiley & Sons, 2021. — 288 p.
5. Интеллектуальные системы управления движением на наземной части аэродрома (A-SMGCS) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.eurocontrol.int/concept/advanced-surface-movement-guidance-and-control-system-a-smgcs> (дата обращения: 01.04.2024).
6. Потапов, А.В., Семенов, К.А. «Цифровизация аэропортовых процессов: от концепции к внедрению» // Транспорт: наука, техника, управление. — 2022. — № 5. — С. 34-41.
7. European Union Aviation Safety Agency (EASA). «Study on the use of UAV/Drones in Airport Environment». — Cologne, 2021.
8. «ГК «Аэропорты Регионов». Внедрение системы точного позиционирования для аэродромной техники» [Электронный ресурс] // Портал «АвиаПорт». — 2023. — Режим

доступа: <https://www.aviaport.ru/digest/2023/10/15/785843.html> (дата обращения: 01.04.2024).

9. Trimble. «Automatic Blade Control for Motor Graders in Airfield Construction and Maintenance» [Электронный ресурс]. — White Paper, 2023.

10. International Air Transport Association (IATA). «Airport Digital Transformation Roadmap». — Montreal, 2023.

11. Козлов, Д.И. «Перспективные технологии борьбы с зимней скользкостью на воздушных судах и аэродромах» // Научный вестник Государственного университета гражданской авиации. — 2021. — Т. 5, № 2. — С. 89-97.

12. Федеральное государственное унитарное предприятие (ФГУП) «Госкорпорация по ОрВД». «Концепция развития «Умный аэродром» до 2030 года». — М., 2022.