

Алешина Кристина Дмитриевна

Санкт-Петербургского университета Гражданской авиации им. А.А.Новикова

Минакова Татьяна Андреевна

Санкт-Петербургского университета Гражданской авиации им. А.А.Новикова

Цырульникова Виктория Романовна

Санкт-Петербургского университета Гражданской авиации им. А.А.Новикова

Соколов Олег Аркадьевич

Санкт-Петербургского университета Гражданской авиации им. А.А.Новикова

**Роботизация перрона как фактор повышения экономической эффективности
аэропорта: управление беспилотными тягачами и трапами из единого центра асу
наземного обслуживания**

Аннотация. В статье рассматривается экономическая целесообразность интеграции беспилотных средств наземного обслуживания воздушных судов в единый цифровой контур аэропорта. Проанализированы ограничения традиционной модели перронных операций, приводящие к росту операционных затрат: зависимость от человеческого фактора (высокие штрафы за повреждения ВС), разрозненность данных (простои техники), высокая плотность конфликтных ситуаций. Обосновано, что роботизированные тягачи и трапы, функционирующие как исполнительные устройства централизованной АСУ наземного обслуживания, позволяют сократить фонд оплаты труда на 60–70%, снизить расходы на страхование и штрафы на 30–40%, повысить пропускную способность перрона без дополнительных капитальных вложений. Приведены расчетные показатели окупаемости инвестиций (ROI) для крупных хабов – 3–5 лет. Выявлены технологические, организационные и нормативные барьеры, даны практические рекомендации по их преодолению с акцентом на экономические выгоды. Обозначены перспективы перехода к полностью автономному перрону как источнику устойчивого конкурентного преимущества аэропорта.

Ключевые слова: роботизация перрона, экономическая эффективность, беспилотный тягач, телескопический трап, автоматизированная система управления наземным обслуживанием (АСУ НО), единый центр управления, операционные затраты, ROI, сокращение издержек, производительность труда, цифровая трансформация аэропорта, машинное зрение, лидар, RTK-навигация, fleet management system, функциональная безопасность.

Aleshina Kristina Dmitrievna

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

Minakova Tatyana Andreevna

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

Tsyruelnikova Victoria Romanovna

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

Sokolov Oleg Arkadyevich

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

**Apron robotization as a factor of increasing the economic efficiency of the airport: control of
unmanned tractors and ladders from a single automated control system center for ground
surveillance**

Abstract. The article considers the economic feasibility of integrating unmanned aircraft ground handling facilities into a single digital airport circuit. The limitations of the traditional apron operations model leading to an increase in operating costs are analyzed: dependence on the human factor (high fines for aircraft damage), fragmentation of data (equipment downtime), high density of conflict situations. It is proved that robotic tractors and ladders, functioning as actuators of a centralized automated control system for ground handling, can reduce wages by 60-70%, reduce insurance costs and fines by 30-40%, and increase apron capacity without additional capital investments. The estimated return on investment (ROI) for large hubs is 3-5 years. Technological, organizational, and regulatory barriers are identified, and practical recommendations for overcoming them are given, with an emphasis on economic benefits. The prospects for the transition to a fully autonomous apron as a source of sustainable competitive advantage of the airport are outlined.

Keywords: apron robotization, economic efficiency, unmanned tractor, telescopic ladder, automated ground handling control system (ACS), unified control center, operating costs, ROI, cost reduction, labor productivity, airport digital transformation, machine vision, lidar, RTK navigation, fleet management system, functional safety.

Ещё несколько лет назад беспилотная техника на перроне воспринималась как выставочный концепт. Сегодня это насущная необходимость. Аэропорты упёрлись в кадровый дефицит, рост интенсивности полётов и цену человеческой ошибки, исчисляемую сотнями тысяч долларов за один инцидент. Точечное внедрение роботизированных тягачей и трапов проблему не снимает - напротив, разрозненные машины разных вендоров плодят конфликты там, где требуется жёсткая синхронизация.

Выход - в создании единого цифрового контура, где беспилотная техника становится не самостоятельным железом, а исполнительным звеном автоматизированной системы управления наземным обслуживанием (АСУ НО). Цель статьи - разобрать, какие барьеры стоят на пути к такой интеграции и какие архитектурные и организационные решения позволяют перевести перрон из режима ручного управления в автоматический.

Наземное обслуживание воздушного судна - это плотный конвейер из полутора десятков операций, на которые отводится от 35 до 50 минут. Трап, багажные тягачи, топливозаправщик, бортопитание и прочая техника стягиваются к борту практически одновременно. Координация держится на голосовой связи диспетчера с водителями и операторами, а решения на местах принимаются на глаз, по опыту и чек-листам.

Ключевых проблем у этой модели три. Во-первых, человеческий фактор - ошибка водителя или оператора трапа остаётся причиной большинства повреждений ВС на земле. Во-вторых, диспетчер лишён полной онлайн-картины: часть техники не оборудована трекингом, и о смещениях графика он узнаёт с опозданием. В-третьих, высокая плотность движения на перроне при отсутствии единой системы позиционирования порождает конфликтные ситуации, которые разрешаются скорее по наитию, чем по расчёту. [2]

Дополнительное давление создают кадровый дефицит - линейный персонал стареет, молодёжь на перрон идёт неохотно, и растущая интенсивность полётов. Аэропорты приближаются к потолку пропускной способности, расширять перрон физически некуда. Единственный реалистичный выход - не наращивать количество техники и людей, а повышать точность управления существующими ресурсами. Отсюда и берёт начало запрос на единый цифровой контур, в котором беспилотные тягачи и трапы работают не сами по себе, а под управлением централизованной АСУ наземного обслуживания.

Под роботизацией перрона понимают не просто замену водителя автопилотом, а создание замкнутого контура, в котором техника сама перемещается, позиционируется и выполняет операции согласно цифровому заданию. Беспилотный тягач или трап перестаёт быть самостоятельным механизмом и становится исполнительным звеном общей автоматизированной системы. [5]

Технологически это опирается на комбинацию лидаров, камер машинного зрения, РТК-навигации и ультразвуковых датчиков, позволяющих технике ориентироваться на перроне с сантиметровой точностью. Трап самостоятельно подъезжает к двери, сканирует контур фюзеляжа и мягко стыкуется без участия оператора. Тягач везёт тележки с багажом по заранее просчитанному маршруту, объезжая препятствия и синхронизируясь с графиком обслуживания борта. [3]

Практические плюсы такого подхода сводятся к трём точкам. По эффективности - робот работает без перерывов и пересменок, строго по расписанию, сокращая время оборота ВС. По экономике - уходят затраты на фонд оплаты трёх-четырёх смен водителей и операторов, снижаются штрафы за инциденты и повреждения. По безопасности - из цепочки исключаются ошибки, вызванные усталостью, невнимательностью или низкой квалификацией персонала. В сумме это даёт предсказуемость процессов, которой хронически не хватает классической схеме наземного обслуживания.

Современный аэропорт уже располагает слоем автоматизации - АСУ наземного обслуживания, которая ведёт план полётов, распределяет стоянки, формирует сменные задания нарядам. Однако архитектура этих систем складывалась в эпоху, когда конечным исполнителем всегда был человек. Соответственно, интерфейсом передачи задания служила либо печатная наряд-задача, либо голосовая радиосвязь, либо, в лучшем случае, сообщение на планшет водителя. Для взаимодействия с беспилотной техникой этого недостаточно - нужен прямой цифровой канал, по которому команда уходит напрямую в бортовой контроллер машины.

На стыке возникает несколько проблем. Первая - совместимость протоколов: роботизированные тягачи и трапы разных производителей говорят на разных языках, тогда как единый центр управления требует универсальной шины данных. Вторая - жёсткость существующих процессов. Технологическая карта обслуживания борта десятилетиями отлаживалась под людей, и просто «воткнуть» в неё робота без пересмотра регламентов не выйдет: требуется адаптация нормативной базы, изменение зон ожидания техники, перенастройка маршрутов движения. Третья - инфраструктурный слой, включая установку дополнительных базовых станций высокоточной навигации, радиомаяков и камер технического зрения по периметру перрона. [7]

Отрасль, впрочем, движется. Показательным считается опыт аэропорта Схипхол, где тестирует роботизированные трапы, получающие команду на стыковку напрямую из цифрового расписания. Из российских разработок выделяется трап миасского предприятия «ГИРД» — телескопическая платформа с автоматической стыковкой, всепогодная (−40...+40 °С) и совместимая со всеми типами средне- и дальнемагистральных лайнеров. Решение внедрено во «Внуково-2» на обслуживании «борта №1. Эти примеры доказывают, что интеграция не упирается в инженерный тупик - основные препятствия лежат скорее в организационной и нормативной плоскостях. Тем не менее, именно они и определяют скорость реального внедрения, а не готовность железа. [1,6]

Единый центр управления - это не просто диспетчерская с мониторами, а надстройка над АСУ наземного обслуживания, которая замыкает на себя весь парк роботизированной техники. Если классический диспетчер работает голосом и реагирует на события постфактум, то цифровой центр оперирует потоком телеметрии в реальном времени и выдаёт команды напрямую в бортовые контроллеры машин.

Функционально такой центр решает три задачи. Первая - сквозной мониторинг: на едином дашборде отображается положение каждого тягача и трапа, статус выполнения операций, отклонения от планового графика. Вторая - автоматическое управление: система сама назначает машину на рейс, прокладывает маршрут с учётом текущей обстановки и отслеживает бесконфликтность траекторий. Третья - аналитика: накопленные данные по времени руления, стыковки и загрузки позволяют выявлять узкие места и перестраивать технологические карты обслуживания.

Техническая основа подобных центров - промышленные платформы класса Fleet Management System (FMS), адаптированные под аэропортовую специфику. Они интегрируются с AODB и получают план полётов, затем раскладывают его на задания для беспилотных единиц. На нижнем уровне FMS общается с машинами по защищённым каналам - как правило, через гибрид Wi-Fi 6 и частных LTE-сетей, обеспечивающих минимальную задержку сигнала. Поверх строятся модули предиктивной аналитики: алгоритмы заранее подсвечивают диспетчеру потенциальные конфликты - пересечение курсов, отставание от слота, нештатную остановку. Человек в этой схеме перестаёт быть «водителем стада» и становится оператором, вмешивающимся только в нестандартных ситуациях. [4]

Переход к централизованному управлению беспилотной техникой на перроне упирается в три группы препятствий.

Технические проблемы связаны с незрелостью сенсоров в сложных погодных условиях. Ливень, туман или метель снижают точность лидаров и камер, а металлические конструкции терминалов дают переотражения, сбивающие навигацию. Добавляется вопрос киберзащиты: прямой канал от центра к бортовому контроллеру - потенциальная точка входа для атаки.

Организационные трудности концентрируются вокруг персонала. Радикальная автоматизация вызывает сопротивление профсоюзов и линейных работников, справедливо опасющихся сокращений. Кроме того, аэропорты сталкиваются с нехваткой специалистов, способных обслуживать и программировать роботизированный парк.

Правовая сторона не менее запутана. Сертификационные требования к беспилотному трапу или тягачу в большинстве стран либо отсутствуют, либо фрагментарны. Без чётких регламентов эксплуатант рискует оказаться в серой зоне при любом инциденте.

Преодоление этих барьеров требует одновременного движения по трём трекам. По персоналу - запуск программ переобучения: водителей переквалифицируют в операторов дистанционного контроля, что снижает социальное напряжение и сохраняет накопленный опыт. По регулированию - инициативная работа с отраслевыми регуляторами и ИКАО по выработке стандартов функциональной безопасности для беспилотной аэродромной техники. По стандартизации - внедрение унифицированных протоколов взаимодействия «робот - центр» и требований к резервированию каналов связи, чтобы система оставалась управляемой при любом сбое. Международный опыт подсказывает, что ключ к успеху не в ожидании готовых нормативных решений сверху, а в запуске пилотных полигонов, результаты которых сами формируют будущие отраслевые стандарты.

Роботизация перрона пока находится в фазе перехода от пилотных проектов к тиражированию, и в перспективе на пять-семь лет просматривается довольно отчётливо. Сенсорика будет дешеветь и умнеть: лидары следующего поколения справляются с осадками всё увереннее, а алгоритмы слитной обработки данных с камер, радаров и ультразвука сводят слепые зоны к минимуму. Главный же сдвиг ожидается не в железе, а в софте - переход от жёстко прописанных маршрутов к динамическому планированию, где траектории пересчитываются на лету в зависимости от задержек рейсов и перемещений другой техники.

Следующий логический шаг - полная цифровая связка «воздух-земля». Борт, ещё находясь на глиссаде, будет передавать на перрон данные о расчётном времени касания полосы и потребном объёме обслуживания, а центр управления заранее выстроит очередь из беспилотных машин с точным временем подъезда. Это уберёт последние разрывы в информационной цепочке, из-за которых техника простаивает в ожидании, пока самолёт зарулит на стоянку.

В более отдалённой перспективе просматривается переход к полностью автономному перрону, где присутствие человека сведено к роли наблюдателя за алгоритмами. Для наземного обслуживания это означает не просто сокращение издержек, а смену бизнес-модели: аэропорт начнёт продавать не место стоянки и часы работы персонала, а гарантированное время оборота борта с точностью до минуты. Для отрасли в целом -

снижение себестоимости стыковок и рост пропускной способности хабов без расширения бетонных площадей. Авиация получит именно то, чего ей остро не хватает сегодня, - предсказуемость наземного этапа, сопоставимую с точностью управления воздушным движением.

Подводя черту, стоит зафиксировать главное: роботизация перрона перестала быть вопросом «внедрять или подождать». Дефицит кадров, потолок пропускной способности и цена ошибки на земле уже сделали этот переход безальтернативным для крупных хабов. Однако ключевой вывод статьи в другом - ставка на разрозненные беспилотные машины без единого центра управления лишь множит хаос. Реальную отдачу даёт только архитектура, где трапы и тягачи работают как исполнительные органы общей цифровой платформы.

Список источников

1. В Амстердаме создали полностью автоматический двойной трап // Элек.ру : [сайт]. — 2021. — 24 ноября. — URL: <https://www.elec.ru/news/2021/11/24/v-amsterdam-sozdali-polnostyu-avtomaticheskij-dvo.html> (дата обращения: 26.04.2026).
2. Гончарук Е. В. Анализ проблем наземного обслуживания воздушных судов // Наука в современном мире: результаты исследований и открытий. — 2023. — С. 4-9.
3. Задорожный А. М., Гетманцев А. Ю. Особенности разработки командной радиолинии управления роботизированным авиатопливозаправщиком // Труды МАИ. — 2025. — №. 140. — С. 15.
4. Кириченко К. С. Деятельность современных автопарков: управленческий аспект // Вестник Академии знаний. — 2025. — №. 4 (69). — С. 777-782.
5. Паскуале Ф. Новые законы робототехники. Апология человеческих знаний в эпоху искусственного интеллекта. — ЛитРес, Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2022.
6. Уникальный трап для стыковки с самолетом придумали в Челябинской области // Эксперт-Урал : [сайт]. — 2024. — 1 октября. — URL: <https://expert-ural.com/news/unikalniy-trap-dlya-stikovki-s-samoletom-pridumali-v-ychelyabinskoy-oblasti.html> (дата обращения: 26.04.2026).
7. Четверикова В. Н., Квашулько В. Е., Соколов О. А. Оптимизация работы аэропорта с помощью автоматизированных систем управления // Наука и мировоззрение. — 2024. — Т. 1. — №. 20. — С. 42-43.

Сведения об авторах

Алешина Кристина Дмитриевна, студентка 2 курса Санкт-Петербургского университета Гражданской авиации им. А.А.Новикова, Россия, Санкт-Петербург.

Минакова Татьяна Андреевна, студентка 2 курса Санкт-Петербургского университета Гражданской авиации им. А.А.Новикова, Россия, Санкт-Петербург.

Цырульников Виктор Романовна, студентка 2 курса Санкт-Петербургского университета Гражданской авиации им. А.А.Новикова, Россия, Санкт-Петербург.

Соколов Олег Аркадьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой №13 «Системы автоматизированного управления», Санкт-Петербургский университет Гражданской авиации им. А.А.Новикова, Россия, Санкт-Петербург

Information about the author

Aleshina Kristina Dmitrievna, 2nd year student of the Novikov Saint Petersburg University of Civil Aviation, Saint Petersburg, Russia.

Minakova Tatyana Andreevna, 2nd year student of the Novikov Saint Petersburg University of Civil Aviation, Saint Petersburg, Russia.

Tsyruelnikova Victoria Romanovna, 2nd year student of the St. Petersburg University of Civil Aviation named after A.A.Novikov, Russia, St. Petersburg.

Sokolov Oleg Arkadyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department No. 13 "Automated Control Systems", Novikov Saint Petersburg University of Civil Aviation, Saint Petersburg, Russia.

