

УДК:517.518.12(575.2)(04)

Шатманов Самат Асылбекович
МБА
Э-почта: Shatmanoff@gmail.com
Тел: +996555094499
Shatmanov Samat Asylbekovich
МБА

ИНТЕГРИРОВАННАЯ AI-ПЛАТФОРМА - ОБЪЕДИНЯЮЩАЯ ПРЕДИКТИВНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОПТИМИЗАЦИЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАПАРКА

Глобальный рост объемов авиаперевозок и усложнение операционных процессов

**АЛДЫН АЛА КООПСУЗДУКТУ КАМСЫЗДООНУ ЖАНА АВИАПАРКТЫН
ЭКСПЛУАТАЦИЯСЫН ОПТИМАЛДАШТЫРУУНУ БИРИКТИРГЕН
ИНТЕГРАЦИЯЛАНГАН AI-ПЛАТФОРМА**

**AN INTEGRATED AI PLATFORM COMBINING PREDICTIVE SAFETY
AND FLEET OPERATIONS OPTIMIZATION**

Аннотация В статье рассматривается интегрированная AI-платформа для управления безопасностью полётов и эксплуатацией авиапарка в условиях роста пассажиропотока и усложнения операционных процессов в гражданской авиации. Показано, что традиционные методы планирования технического обслуживания и расписаний теряют эффективность из-за высокой взаимосвязанности процессов, роста затрат и влияния человеческого фактора. Цель исследования — обосновать целесообразность объединения предиктивной безопасности и интеллектуальной оптимизации флота в рамках единой платформы. Предложенная концепция основана на применении методов машинного обучения для анализа эксплуатационных данных и прогнозирования технических рисков с их последующей интеграцией в процессы оперативного планирования. Показано, что внедрение интегрированной AI-платформы позволяет снизить вероятность внеплановых отказов, уменьшить простой флота и повысить устойчивость операционной деятельности авиакомпаний.

Аннотация. Бул макалада жарандык авиацияда жүргүнчүлөрдүн агымынын өсүшү жана операциялык процесстердин татаалдашы шартында учууларды коопсуз башкаруу жана авиапарктын эксплуатациясын жакшыртуу үчүн арналган интеграцияланган AI-платформа каралат. Техникалык тейлөөнү жана учуу жадыбалы салттуу пландоо ыкмалары процесстердин өз ара тыгыз байланышта болушу, чыгымдардын өсүшү жана адам факторунун таасири себептүү болгон натыйжалуулугун жоготуп бара жатканы көрсөтүлөт. Изилдөөнүн максаты - алдын ала коопсуздукту камсыздоо менен авиапарктын интеллектуалдык оптималдаштыруусун бирдиктүү платформа алкагында иштеп чыгуу зарылдыгын негиздөө. Сунушталган концепция эксплуатациялык маалыматтарды талдоо жана техникалык тобокелдиктерди алдын ала болжолдоо үчүн машиналык окутуу ыкмаларын колдонууга негизделет жана алынган натыйжалар оперативдүү пландоо процесстерине түздөн-түз интеграцияланат. Изилдөөнүн жыйынтыктары интеграцияланган AI-платформаны колдонуу пландан тышкаркы кокустан бузулууларды азайтууга, авиапарктын токтоп турушун кыскартууга жана авиакомпаниялардын операциялык туруктуулугун жогорулатууга мүмкүндүк берерин кенири көрсөтөт

Abstract. This paper examines an integrated AI platform designed for flight safety management and fleet operations in the context of increasing passenger traffic and growing operational complexity in civil aviation. It is demonstrated that traditional approaches to maintenance planning and schedule management are losing effectiveness due to strong interdependencies between operational processes,

rising costs, and the impact of human factors. The objective of the study is to justify the integration of predictive safety and intelligent fleet optimization within a unified platform architecture. The proposed concept is based on the application of machine learning methods to analyze operational data and predict technical risks, with subsequent integration of these assessments into operational planning processes. The results show that the implementation of an integrated AI platform reduces the likelihood of unscheduled failures, minimizes fleet downtime, and enhances the overall operational resilience of airlines.

В последние годы пассажиропоток по всему миру продолжает расти, и это серьёзно увеличивает нагрузку на авиационные и аэропортовые системы.¹ Чем больше рейсов выполняют авиакомпании, тем плотнее становится расписание, а любое небольшое отклонение задержка одного борта, неисправность оборудования или резкое ухудшение погоды может вызвать цепочку последующих сбоев.²

Сегодня авиакомпании работают в условиях, где все процессы тесно связаны между собой, и система в целом становится гораздо чувствительнее к любым неожиданностям. Поэтому традиционных методов планирования уже недостаточно. Отрасли нужны решения, которые в режиме реального времени видят состояние флота, прогнозируют риски, оценивают доступность ресурсов и помогают быстро принимать правильные операционные решения.³

Рост затрат на техническое обслуживание становится всё более заметным и болезненным для авиакомпаний. Привычная модель планового ТО уже не работает так, как раньше: если выполнять обслуживание заранее это приводит к лишним расходам. Если же затянуть повышается риск внезапных отказов, задержек рейсов и угроз для безопасности.

К этому добавляется и человеческий фактор. Диспетчеры, инженеры и команды операционных центров работают в условиях постоянного давления: объём данных растёт, ситуации меняются буквально на глазах, а нагрузка и стресс только усиливаются.

В такой среде ошибки становятся почти неизбежными и каждая из них может дорого обойтись.

Общая проблема в том, что сбои возникают не в каком-то одном звене. Они рождаются из несогласованности десятков взаимосвязанных процессов, которые уже невозможно эффективно контролировать вручную. Именно поэтому отрасль нуждается в системном технологическом решении и ключевую роль здесь начинает играть искусственный интеллект.

Проблемы: задержки рейсов, неэффективное использование флота, рост стоимости ТО, человеческий фактор

Ключевые операционные проблемы авиакомпаний остаются хронически одними и теми же:

Задержки и отмены рейсов. Они возникают не только из-за технических причин или погоды, но и из-за цепочки мелких организационных ошибок, которые система не успевает компенсировать.

Низкая эффективность использования флота. Даже крупные перевозчики сталкиваются с ситуациями⁴, когда самолёт простаивает из-за задержки технического обслуживания, отсутствия запасных частей или неоптимального планирования. Каждый час простоя прямые финансовые потери.

Связь между операционной эффективностью и безопасностью полётов

Безопасность полётов и операционная эффективность традиционно рассматриваются отдельно, однако на практике они тесно взаимосвязаны. Любой технический сбой, задержка обслуживания, перегрузка распи-

¹Boeing Commercial Airplanes. (Annual). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents*.

²ICAO. (2018). *Safety Management Manual (Doc 9859) (4th ed.)*. International Civil Aviation Organization.

³IATA. (Annual). *IATA Safety Report*. International Air Transport Association.

⁴Ершов, Е. В., & Петров, А. Н. (2020). Использование технологий машинного обучения для оценки рисков в авиационной отрасли. *Транспорт Российской Федерации*, 87(6), 34–41.

сания или неправильное распределение ресурсов создаёт риски, которые накапливаются в операционной цепочке⁵, к примеру:

- задержка технического осмотра увеличивает вероятность скрытой неисправности;
- сокращение времени оборота самолёта повышает нагрузку на команды;
- вынужденные перестановки самолётов и

экипажей часто приводят к работе на грани эксплуатационных лимитов.

Таким образом, **повышение операционной устойчивости напрямую снижает вероятность инцидентов**, а прогнозирование технических отказов даёт возможность перестраивать расписание заранее, исключая самолёты из рискованной зоны.⁶

Соотношение причин задержек рейсов



Рис. 1. Соотношение основных причин задержек рейсов в гражданской авиации. Источник: FAA Aviation System Performance Metrics, IATA Annual Report.

Эта взаимосвязь требует платформенного решения, где безопасность перестает быть пассивной функцией контроля, а становится активным инструментом для принятия решений на уровне всей авиакомпании.

Интегрированная AI-платформа - объединяющая предиктивную безопасность и оптимизацию эксплуатации флота

Цель данного исследования - представить архитектуру платформы нового поколения, которая объединяет два ключевых направления в управлении авиакомпанией.

Во-первых, предиктивную безопасность системы, способные заранее выявлять технические отклонения, прогнозировать возможные отказы и анализировать данные

полётных регистраторов, чтобы обнаруживать риски ещё до того, как они проявятся.

Во-вторых, оптимизацию флота и расписания инструменты математического моделирования и машинного обучения, позволяющие строить устойчивое расписание с учётом реальных факторов: технического состояния воздушных судов, погодных условий, потенциальных задержек и изменений в пассажирском спросе.

Ключевая идея работы заключается в их объединении. Безопасность и планирование не должны существовать отдельно друг от друга: если система прогнозирует риск отказа конкретного самолёта, эта информация должна сразу же учитываться при формировании расписания и распределения флота.

⁵ Barnhart, C., & Cohn, A. (2004). Airline schedule planning and fleet assignment. In *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. 14, pp. 517–560). Elsevier.

⁶ IATA. (Annual). IATA Safety Report. International Air Transport Association.

Такой подход создаёт новый уровень управления авиакомпанией не реактивный, когда проблемы решаются постфак-

тум, а предиктивный, где риски предвидятся и устраняются ещё до того, как они повлияют на операционную деятельность.



Рис. 2. Динамика мирового пассажиропотока в 2020–2024 гг. Источник: IATA World Air Transport Statistics.

Практические эффекты внедрения интегрированной AI-платформы для авиакомпаний

Интеграция прогнозных моделей технического состояния позволяет выявлять деградацию узлов задолго до фактического отказа. Это касается как критичных систем (гидравлика, авионика, топливные насосы), так и элементов с “медленной” деградацией (подшипники, датчики, клапаны). AI анализирует данные FDR/QAR, эксплуатационные циклы, вибросигнатуры и отклонения от нормального профиля полёта, формируя точную оценку риска.

Результат:

- самолёт выводится под ТО заранее, без влияния на операционную цепочку;
- вероятность внезапного отказа снижается на порядок;
- устраняется основной триггер массовых задержек и отмен рейсов.

Уменьшение простоя флота и оптимизация загрузки бортов

AI-платформа синхронизирует состояние каждого борта с операционным планированием:

если риск отказа растёт борт заранее исключается из цепочки рейсов; если состояние стабильное самолёт назначается на наиболее ресурсно-эффективные сегменты.

Это позволяет:-

- минимизировать длительные “случайные” простои;
- поддерживать целевой коэффициент использования флота;
- равномерно распределять налёт между бортами.

В оптимизированной модели самолёт работает столько, сколько позволяет его техническое состояние, а не формальный цикл ТО.⁷

Повышение точности расписания и устойчивости к нарушениям

Когда модуль Predictive Safety интегрирован с планировщиком, расписание становится динамическим: оно корректируется по мере изменения рисков, погодных ограничений или операционных факторов.

⁷Жилинский, А. С. (2018). Методы анализа и прогнозирования отказов авиационной техники. Наука и Техника Воздушного Флота, 4(2), 55–63.

AI подбирает решения, минимизирующие последствия нарушения:

- заранее предлагает замену ВС;
- перераспределяет маршруты;
- корректирует связи между рейсами
- оптимизирует стыковки экипажей и слоты.

Результат не просто “меньше задержек”, а **структурно более устойчивая операционная сеть**, способная адаптироваться к ухудшению условий без каскадных сбоев.

Снижение операционных расходов на техническое обслуживание

ТО по календарю или по наработке не отражает реального технического состояния борта.⁸

AI переходит к модели обслуживания “по состоянию” (Condition-based / Predictive Maintenance), где регламент формируется динамически.

Экономические эффекты:

- сокращение внеплановых ремонтов самая дорогая категория ТО;
- уменьшение объёма преждевременных замен агрегатов;
- повышение доступности техники без увеличения запасных частей;
- выравнивание нагрузки на MRO-службы.

Каждая единица флота обслуживается именно тогда, когда это необходимо, без избыточных операций и без риска откладывания ремонта до критической точки.

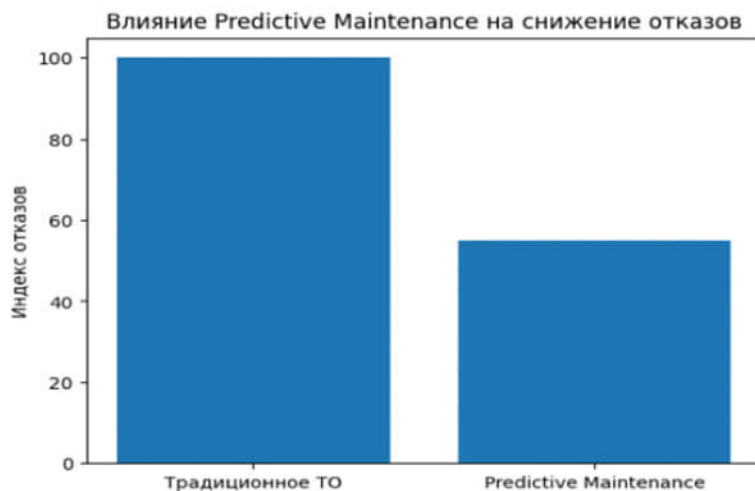


Рис. 3. Влияние Predictive Maintenance на сокращение отказов авиационной техники. Источник: ICAO (Doc 9859), IATA Safety Report, Boeing Statistical Summary.

Усиление контроля над факторами риска и переход к активной модели обеспечения безопасности

Традиционная безопасность опирается на расследование событий и мониторинг отчётности. AI-платформа обеспечивает **про-активную модель**, где риски выявляются, измеряются и устраняются до того, как приводят к инциденту.⁹

Преимущества:

- ранняя идентификация аномальных профилей полётов;

- выявление скрытых тенденций (например, повторяющиеся перегревы, колебания давления, микровибрация);

- автоматическое уведомление ОСС и инженерного контроля о повышении индекса риска;

- прямое влияние risk score на планирование рейсов.

В итоге безопасность становится управляемой в реальном времени, а не постфактум.

⁸ Александров, А. Л., & Гузеев, В. И. (2019). *Техническая эксплуатация летательных аппаратов и авиационных двигателей*. Москва: Машиностроение.

⁹ Boeing Commercial Airplanes. (Annual). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents*.

Улучшение качества обслуживания пассажиров

Пассажирам обычно безразличны технические детали они оценивают авиакомпанию по стабильности расписания, отсутствию задержек и качеству взаимодействия на земле.¹⁰

AI-платформа позволяет:

- снижать вероятность отмен рейсов;
- уменьшать продолжительность и частоту задержек;
- обеспечивать предсказуемость пересадок;
- сокращать очереди на стойках обслуживания из-за сбоев в расписании.

Недовольство пассажиров, компенсационные выплаты, перераспределение на другие рейсы всё это снижается благодаря более чёткой операционной работе флота.

Практический эффект интеграции AI-платформы заключается не в улучшении отдельных сегментов, а в **комплексном росте устойчивости всей операционной модели авиакомпании**. Связка предиктивной безопасности и оптимизации флота создаёт операционную экосистему, где технические риски, расписание и эксплуатационные решения работают согласованно, формируя более безопасную, эффективную и экономичную систему воздушных перевозок.

Заключение

Представленная работа показывает, почему авиакомпаниям важно переходить к современному интегрированному AI-системам, объединяющим предиктивную безопасность и умное управление флотом. Анализ текущих реалий говорит о том, что рост пассажиропотока, усложнение рабочих процессов, повышение стоимости обслуживания и постоянное давление на специалистов создают условия, в которых привычные методы уже не справляются. Предложенная архитектура новой платформы обеспечивает прямую связь между прогнозированием технических рисков и оперативным планированием расписания. Это помогает снижать вероятность отказов, уменьшать простой самолётов, точнее выстраивать операционную работу и лучше контролировать факторы риска.

Полученные результаты показывают, что сочетание прогнозных моделей и инструментов оптимизации создаёт действительно устойчивую операционную среду, где решения принимаются не интуитивно, а на основе точных данных о состоянии самолётов и реальных ограничениях. По сути, такая AI-платформа позволяет перейти от подхода «реагировать на проблему» к подходу «предотвращать проблему». Это приводит к более высокому уровню безопасности полётов, эффективному использованию флота и большей стабильности для пассажиров и всей авиакомпании.

Использованная литература:

1. ICAO. (2018). *Safety Management Manual (Doc 9859)* (4th ed.). International Civil Aviation Organization.
2. FAA. (2015). *Aircraft Maintenance Reliability Program (AC 120-17A)*. Federal Aviation Administration.
3. Boeing Commercial Airplanes. (Annual). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents*.
4. IATA. (Annual). *IATA Safety Report*. International Air Transport Association.
5. Li, X., Ding, Q., & Sun, J. (2020). Aircraft engine remaining useful life prediction based on deep learning. *Aerospace Science and Technology*, 108, 106–118.
6. Kumar, A., & Goebel, K. (2019). A review of predictive maintenance: Systems, models, and challenges. *IEEE Transactions on Reliability*, 68(2), 570–587.
7. Barnhart, C., & Cohn, A. (2004). Airline schedule planning and fleet assignment. In *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. 14, pp. 517–560). Elsevier.
8. Petersen, J., et al. (2012). Disruption management in passenger transportation: A review. *Transportation Research Part B*, 46(6), 831–841.
9. Александров, А. Л., & Гузеев, В. И. (2019). *Техническая эксплуатация летательных аппаратов и авиационных двигателей*. Москва: Машиностроение.

10. Росавиация. (2021). *Государственная программа обеспечения безопасности полётов в гражданской авиации Российской Федерации*.

11. Жилинский, А. С. (2018). Методы анализа и прогнозирования отказов авиационной техники. *Наука и Техника Воздушного Флота*, 4(2), 55–63.

12. Ершов, Е. В., & Петров, А. Н. (2020). Использование технологий машинного обучения для оценки рисков в авиационной отрасли. *Транспорт Российской Федерации*, 87(6), 34–41.