

Безопасность на воздушном транспорте/ Air Transport Safety

Научная статья

УДК 629.7.052

<https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-3-6>

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В РАБОТЕ С
ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ**

Вадим Вячеславович Черепов,
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Москва, Россия*

*Евгений Юрьевич Старков,
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Москва, Россия*

Аннотация. Концепция поддержания высокого уровня безопасности полетов в гражданской авиации подразумевает снижение общего количества авиационных происшествий и катастроф на рейсах коммерческой авиации по причине технической неисправности воздушного судна. На сегодняшний день минимизация человеческого фактора в области технического обслуживания и ремонта воздушных судов, а также отказов систем может быть обеспечена за счет внедрения машинного обучения в специализированные программы для подразделений по расшифровке полетной информации. Данная статья посвящена усовершенствованию программы отдела по работе с полетной информацией посредством внедрения программного обеспечения, которое, в свою очередь, будет ускорять процесс нахождения и предупреждения дефектов при помощи апробации состояния смежных систем воздушного судна. Для верификации предложенного метода в статье выполнен расчет статистических показателей безопасности полетов. Расчет показал, что для самолета типа Boeing 777-300ER вероятность безопасного завершения определенного количества полетов увеличится с e^{-77} до e^{-75} . Полученные результаты демонстрируют рост коэффициента безаварийного выполнения полетов – ключевой задачи внедренного программного обеспечения.

Ключевые слова: авиация; машинное обучение; полетная информация; бортовые регистраторы; воздушное судно; шасси; смазка; двигатель; удельный расход; искусственный интеллект.

Для цитирования:

Черепов, В. В. Использование машинного обучения в работе с полетной информацией / В. В. Черепов, Е. Ю. Старков // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2026. – Том 13. – №03. – С. 6-26. – <https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-3-6>

Вклад авторов в работу:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

* Ответственный автор за связь с редакцией

Original research article

USING MACHINE LEARNING TO PROCESS FLIGHT INFORMATION

Vadim V. Cherepov**

Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Moscow, Russia

Evgeniy Yu. Starkov,

Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Moscow, Russia

Abstract. The concept of maintaining a high level of flight safety in civil aviation implies reducing the total number of aviation incidents and accidents on commercial flights due to technical malfunctions of the aircraft. Today, minimizing the human factor in the field of aircraft maintenance and repair, as well as system failures, can be achieved by implementing machine learning in specialized programs for flight information processing units. This article is devoted to the improvement of the flight information department's program through the implementation of software, which, in turn, will accelerate the process of finding and preventing defects by testing the state of the aircraft related systems. To verify the proposed method, the article calculates statistical flight safety indicators. The calculation shows that for a Boeing 777-300ER aircraft, the probability of a certain number of flights being completed safely will increase from e^{-77} to e^{-75} . The results demonstrate an increase in the accident-free flight rate, which is a key objective of the implemented software.

Keywords: aviation; machine learning; flight information; flight data recorders; aircraft; landing gear; lubrication; engine; specific consumption; artificial intelligence.

To cite this article:

Cherepov, V. V., Starkov, E. Yu. (2026). Using machine learning to process flight information. *Crede Experto: transport, society, education, language*, vol. 13, no. 3, pp. 6-26 DOI: <https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-3-6> (in Russ.).

Authors' Contributions:

The authors Vadim V. Cherepov and Evgeniy Yu. Starkov equally contributed to this work.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Введение (Introduction)

В современном мире стремительно развивающихся технологий мы все чаще слышим о таком направлении развития, как искусственный интеллект (ИИ). Термин «интеллект» (intelligence) происходит от латинского intellectus, что означает ум, рассудок, разум; мыслительные способности человека. Соответственно, искусственный интеллект (artificial intelligence) – ИИ (машинное обучение) – обычно толкуется как свойство автоматических систем брать на себя отдельные функции интеллекта человека, например, выбирать и принимать оптимальные решения на основе ранее полученного опыта и рационального анализа внешних воздействий [Что такое искусственный..., 2024].

Авиационная отрасль, являясь одной из самых сложных и технически продвинутых, нуждается во внедрении новых специализированных программ-

** Corresponding author

помощников, в основе которых будет машинное обучение.

Главная особенность машинного обучения (ИИ) – быстрый анализ больших объёмов данных и решение поставленных задач [Скопина, 2024].

Пользуясь специальной поисковой строкой (либо другими способами выделения информации, такими как картинки и др.), мы задаем необходимые параметры поиска. ИИ, в свою очередь, основываясь на программном коде, который схож с нейронными процессами, происходящими в головном мозге человека, не просто находит нужную информацию, но и обрабатывает ее, чтобы предоставить полноценный ответ на поставленную задачу [Zorina et al., 2021].

Указанные выше преимущества должны быть использованы в бортовых самописцах воздушного судна и реализованы в ПО (программном обеспечении) систем, связанных со СОК (средствами объективного контроля).

Для внедрения новых функций в бортовое оборудование самолета оно должно соответствовать НЛГ (нормам летной годности), процесс разработки которых должен соответствовать двум основным положениям:

- рекомендациям и действующим приложениям международной конвенции (ИКАО) [Шаров, 2026];
- современным авиационным правилам, а также предшествующим им НЛГ.

Вновь разработанные функции должны не только соответствовать всем требованиям НЛГ, но и быть юридически «изменяемыми» или «комплексными». Это означает, что разработанное ПО (программное обеспечение) должно быть контролируемым в рамках воздушного права: легко изменяться в соответствии с новыми постановлениями авиационных властей, соответствовать правовым требованиям всех стран, входящих в ИКАО, быть одобренным производителями авиационной техники под все типы воздушных судов, как в коммерческой и государственной, так и в экспериментальной авиации.

Материалы и методы (Materials and Methods)

Актуальность исследования обусловлена недостаточной технологичностью современных программ по считыванию и обработке полетной информации.

Основу методики составил анализ данных с применением методов машинного обучения. В качестве целевой задачи было выбрано прогнозирование вероятных отказов бортовых систем на основе комплексного анализа динамики полетных параметров. Для этого были выделены диагностические признаки, рассчитанные на основе теоретических данных, полученных с регистраторов. Это позволит перейти от ручного анализа и поиска отказов систем к систематическому поиску и указанию возможных вариантов ремонта авиационной техники (полетная информация станет основным инструментом анализа).

Рассмотрение необходимости внедрения машинного обучения в ПО (программное обеспечение) средств объективного контроля выполним при

помощи анализа авиационного события на примере работы системы «Выпуска и уборки шасси» ВС типа Boeing 777-300ER. Данное воздушное судно является представителем широкофюзеляжных дальнемагистральных лайнеров и оснащается двумя двигателями GE-90 и тремя основными опорами шасси (с жидкостно-газовыми амортизаторами) [Никитин и др., 2023]. Основные стойки шасси крепятся к крылу воздушного судна непосредственно при помощи двух соединений (цапф). Цапфа представляет собой металлический цилиндр, необходимый для удерживания шасси и его вращения в поперечном направлении при помощи сил, создаваемых гидроцилиндром, либо силы тяжести (при аварийном выпуске стоек).

С передней стороны траверсы имеется отверстие, которое должно совпасть с ответной частью на крыле лайнера (рис. 1), с фронтальной стороны используется «пуля» (видоизмененное название цапфы из-за формы крепления). Задняя часть траверсы совмещается со сквозным отверстием в крыле, при достижении соосности двух технологических отверстий ИТП (инженерно-технический персонал), используя специализированный инструмент (зачастую этим инструментом является обратный молоток), выбивает «пулю» из траверсы на необходимое расстояние, при котором половина металлического цилиндра остается в стойке шасси, а вторая – в ответной части силовой части крыла воздушного судна.

Суть неисправности системы «Выпуска и уборки шасси» заключается в невозможности уборки стоек после взлета ВС, что влечет за собой возврат на запасной аэродром (один из примеров недавнего авиационного инцидента с ВС схожего типа и строения стойки шасси произошел в 2024 году [Осколкова, 2024]).

Возможные причины неисправности заключаются в следующих причинах:

- отсутствие должной перемазки компонентов;
- нарушение работоспособности гидравлики опор;
- отказ электронной составляющей системы (блоки или проводка).

Рассмотрим авиационное происшествие со стороны концепции Швейцарского сыра [Якимович, 2016], предположенной Джеймсом Ризоном [Долженко, 2020].



Рисунок 1 – Внешний вид ответной части стойки шасси Boeing 777-300ER,.
Источник: <https://cz.pinterest.com/pin/boeings-enormous-new-777x-jet-just-took-its-first-flight-take-a-look-back-at-the-history-of-the-companys-largest-twinjet-airplanes--390968811422274353/>

Figure 1 – External view of the mating part of the Boeing 777-300ER landing gear, taken from Internet resources. *Source: <https://cz.pinterest.com/pin/boeings-enormous-new-777x-jet-just-took-its-first-flight-take-a-look-back-at-the-history-of-the-companys-largest-twinjet-airplanes--390968811422274353/>*

Суть концепции заключается в определении непосредственной траектории отказов (красная линия). Данная линия проходит сквозь определённое количество слоев защиты и отражается в обратном направлении – в безопасную зону. При совмещении активных отказов (отверстий) всех уровней происходит неминуемое авиационное происшествие (рис. 2). При анализе структуры концепции Джеймс Ризон приходит к выводу: единичные нарушения и отказы в каждом из таких барьеров по отдельности редко приводят к серьёзным последствиям [Ушаков, 2020].

В данном авиационном событии траектория отказов пересекает сразу четыре уровня защитного слоя: осведомленность ИКЦ (инженерно-координационного центра), качественное выполнение периодического технического обслуживания воздушного судна, проверка параметров работоспособности системы летным экипажем и проверка параметров работы системы при помощи датчиков ПИ (полетной информации).

Для предотвращения повторения отказа системы выпуска основных опор необходимо исключить систематичность (цепочку) активных отказов и свести их к минимуму – до единичных отклонений.

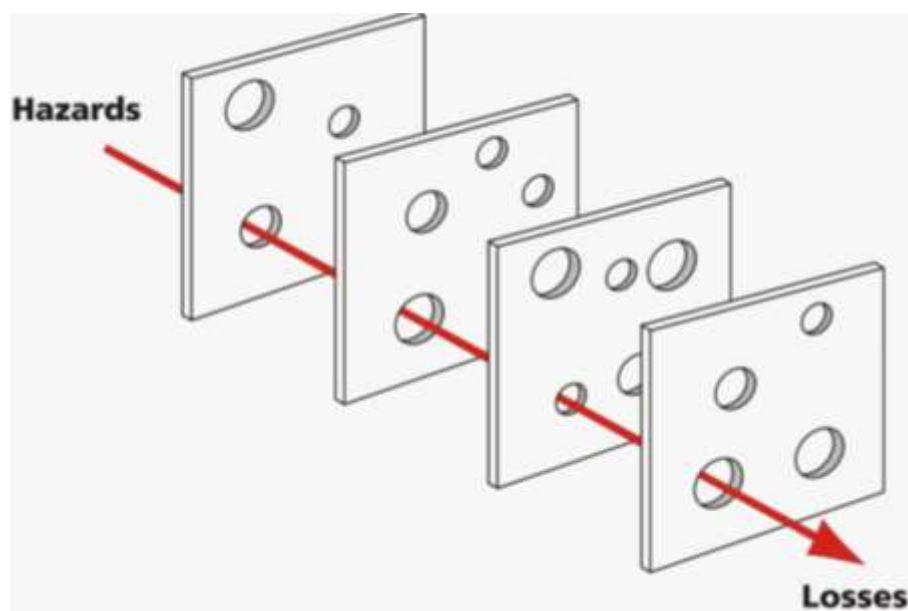


Рисунок 2 – Модель швейцарского сыра. Источник:

<https://www.byggahus.se/k/5539097/?t=506875>

Figure 2 – Swiss cheese model. Source:

<https://www.byggahus.se/k/5539097/?t=506875>

При анализе цепочки отказов (рис. 3) можно заметить, что повлиять на отказ летный экипаж не может, так как отказ имеет неожиданный периодический характер, а информированность ИКЦ (инженерно-координационного центра) зависит от организации, выполняющей техническое обслуживание и ремонт воздушного судна эксплуатанта.

Предположим, что некачественное выполнение периодического технического обслуживания и ремонта системы на базе «А»-Check и «С»-Check связано с анализом данных, полученных со СОК (средств объективного контроля).

Завод-изготовитель в своей технической документации к данному типу ВС рекомендует делать периодическую смазку этого узла.



Рисунок 3 – Цепочка активных отказов. *Источник: составлено авторами*
Figure 3 – Active failure chain. *Source: Designed by the authors*

Однако в пометках указано, что новая смазка должна появиться как минимум в 5-6 местах каждые 90 градусов (рис. 4, позиция 3). ИТП (инженерно-технический персонал) зачастую может выполнять данную работу в неполном объеме (теоретические размышления), что и приводит к отказу системы. Неуборка шасси – это длительный отказ, который обладает накопительным эффектом. Смазка постепенно теряет свои свойства под действием окислов кислорода [Иванов и др., 2009]; технический персонал, неверно выполняя задание, продлевал накопительный эффект. Данный эффект можно контролировать путём проверки времени уборки стоек. В случае постепенного высыхания шасси начинают медленнее убираться, вследствие чего увеличивается время между срабатыванием светового индикатора уборки опор ВС. Промежуток времени, в свою очередь, фиксируется бортовым самописцем.

Машинное обучение может влиять на БП (безопасность полетов) и авиационную отрасль (в нашем случае на полетную информацию) двумя способами:

- помощь в создании программ, упрощающих деятельность отделов по обработке данных средств объективного контроля и координационных центров;
- непосредственное внедрение машинного обучения в разработанную

программу, предназначенную для отделов по расшифровке полётной информации.

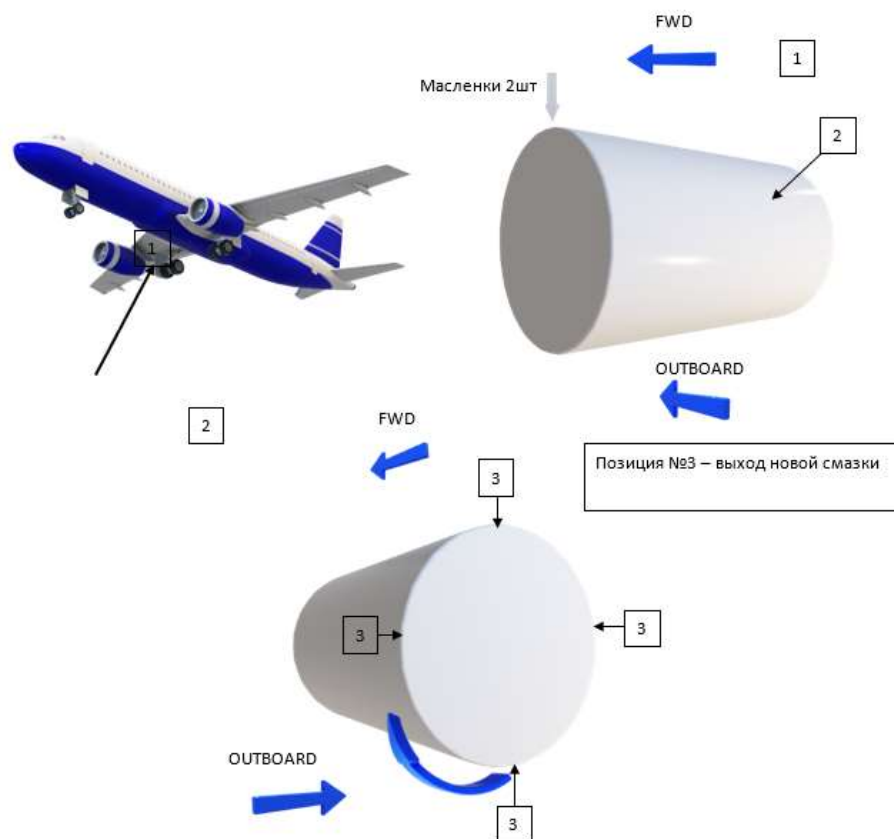


Рисунок 4 – Система смазки переднего крепления стойки шасси Boeing 777-300ER. *Источник: составлено авторами*

Figure 4 – Nose Landing Gear Lubrication System of Boeing 777-300ER. *Source: Designed by the authors*

Используя машинное обучение, мы можем создать небольшую на данный момент модель приложения, которая будет использоваться для анализа полученных данных. На данном этапе данные «Время уборки шасси», «Время выпуска шасси» и «Регистрационный номер ВС» вносятся вручную пользователем приложения.

При наличии непосредственной информации со средств объективного контроля состояния ВС данный процесс внесения данных можно автоматизировать путем подключения ПК (портативного компьютера) с установленной программой к серверу базы данных. Портативный компьютер сам будет подгружать данные с сервера, на который будут выкладываться актуальные параметры, полученные с блоков ВС. В полученную программу мы заносим теоретические данные времени выпуска и уборки шасси и получаем графики динамики уборки шасси ВС за все время эксплуатации.

Машинное обучение, внедренное в программное обеспечение и

построенное на принципах разработки алгоритмов и статистических моделей, которые позволяют программе принимать решения относительно времени уборки шасси [Семенова, 2024], выдает возможные варианты решения проблемы: в данном случае – проверка смазки всех узлов, работоспособности гидроцилиндров (основных и вспомогательных), необходимых для складывания подкоса стойки (рис. 5).

Это и является предотказным состоянием ВС, которое в будущем приведет к авиационному событию или потере работоспособности системы воздушного судна. Красные зоны ограничивают предельно допустимые отклонения во времени уборки стоек шасси; если время уборки основных и передних опор шасси подходит к красной зоне, программа начинает анализ отказов похожих ВС, предлагает пути решения и акцентирует внимание инженера по расшифровке на возможном отказе системы ВС.

Программа выводит предложения по устранению дефекта спустя определенное количество циклов считывания полученных данных со СОК (средств объективного контроля). Профильные подразделения при помощи полученной программы фиксируют данное отклонение и инициируют дополнительные работы при ТО ВС. Однако программа способна не только обрабатывать полученную информацию и предлагать пути решения дефектов, но и вычислять (указывать) неисправность системы даже по косвенным признакам в случае отказа датчика.

Опоры шасси необходимы для выполнения маневрирования ВС по территории аэродрома, пробега и разбега, а также для принятия действующих нагрузок при посадке самолета. В ПГУП (прямом горизонтальном управляемом полёте) стойки отрицательно влияют на аэродинамические качества воздушного судна. Для уменьшения негативного влияния данной системы на основные параметры (скорость и др.) в современных самолетах реализована система уборки шасси.

При рассмотрении авиационного события с самолетом типа Boeing 777-300ER предположим, что в течение определенного количества полётных циклов на данном самолете произошел отказ датчика, отвечающего за считывание необходимого времени для выпуска и уборки стоек.

Машинное обучение, обрабатывая полученную информацию, будет фиксировать увеличенный часовой расход топлива вследствие большего количества оборотов вала двигателя (потребная тяга) из-за возросшего лобового сопротивления (C_x) [Пархимович и др., 2023]. Формула зависимости потребной мощности от высоты полета:

$$N_n = \frac{C_x \rho V^3}{150}, \quad (1)$$

ρ – массовая плотность;

V – скорость.

Тогда, учитывая, что потребная тяга – это не что иное, как отношение веса самолета к аэродинамическому качеству [Княжский и др., 2017] и отношение подъёмной силы к лобовому сопротивлению, получаем:

$$K = \frac{C_y}{C_x} = \frac{G}{P_T} \quad (2)$$

$$C_x = (C_y P_T) / G, \quad (3)$$

C_y – подъёмная сила;

G – масса самолёта.

Следовательно, потребная тяга равна:

$$P_t = \frac{N_n 150G}{C_y \rho V^3}. \quad (4)$$

Теперь выведем зависимость удельного расхода топлива двигателя воздушного судна от удельной тяги:

$$P_y = \frac{N_n 150G}{C_y \rho V^3} = \frac{N_n 150G}{C_y \rho V^3 G_\phi} \quad (5)$$

$$C_{y\phi} = \frac{3600 g_m (1 - g_{отб} - g_{охл})}{P_{y\phi}} = \frac{3600 c_n (1 - g_{отб} - g_{охл}) (T_z^* - T_k^*) C_y \rho V^3 G_\phi}{N_n 150 G H_u \mu_z}, \quad (6)$$

G_ϕ – расход воздуха двигателя GE-90;

g_m – относительный расход топлива в основной камере сгорания;

H_u – значение теплотворной способности топлива H_u (43000 кДж/кг);

μ_z – коэффициент полноты сгорания топлива в основной камере сгорания (0,98...0,99);

$g_{отб}; g_{охл}$ – коэффициенты отбора и расхода воздушного потока, необходимые для функционирования систем самолета;

T_k^* – полная температура на выходе из компрессора двигателя (табличное значение зависит от КПД компрессора и степени повышения давления в компрессоре);

c_n – теплоемкость процесса;

T_z^* – температура газов перед турбиной (зависит от количества подаваемого топлива на режиме работы двигателя).

Преобразовав полную температуру воздуха на выходе из компрессора двигателя и подставив её в формулу удельного расхода топлива на взлете для двигателя General Electric (GE-90), получаем:

$$T_K^* = T \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right) \left(1 + \frac{\eta_K^{*\frac{k-1}{k}} - 1}{\mu_K^*} \right) \quad (7)$$

$$C_{y0} = \frac{\left(T_z^* - T \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right) \left(1 + \frac{\eta_K^{*\frac{k-1}{k}} - 1}{\mu_K^*} \right) \right) (1 - g_{омб} - g_{охл}) C_y \rho V^3 G_g}{N_n 150 G H_\mu \mu_z}, \quad (8)$$

где: μ_K^* – КПД компрессора;

k – показатель адиабаты;

η_K^* – степень повышения давления в компрессоре.

Определим часовой расход топлива по упрощенной формуле для ПГУП (прямолинейного горизонтального установившегося полета) для облегчения расчетов, ведь физический смысл расчетов не изменится, а только уменьшится на дополнительные коэффициенты угла наклона траектории:

$$q_u = C_{y0} P_H = C_{y0} C_x q S \quad (9)$$

$$q_u = \frac{3600 c_n \left(T_z^* - T \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right) \left(1 + \frac{\eta_K^{*\frac{k-1}{k}} - 1}{\mu_K^*} \right) \right) (1 - g_{омб} - g_{охл}) C_y \rho V^3 G_g}{N_n 150 G H_\mu \mu_z}, \quad (10)$$

где: P_H – необходимая мощность для соответствующего режима полета.

Формула показывает, что часовой расход топлива будет зависеть от нескольких коэффициентов, которые могут меняться в зависимости от состояния воздушного судна:

– расход воздуха, меняется в зависимости от отклонения РУД в кабине пилотов;

– лобовое сопротивление, меняется в зависимости от конфигурации и состояния ВС.

Оба показателя при их увеличении негативно влияют на расход топлива и

КПД авиационного двигателя (КПД турбины) [Троицкий и др., 2016]. ЕЕС (Electronic Engine Control / электронный блок управления двигателем) благодаря датчикам, расположенным в насосах топливной системы, зафиксировывает увеличенный расход топлива и передаст информацию на DFDR (Digital Flight Data Recorder / цифровой бортовой самописец) самолета.

В улучшенную версию программы необходимо внедрить график и окна ввода данных для фиксирования «Удельного расхода топлива». Путем машинного обучения подгружаются допустимые параметры работы двигателя GE-90, а также возможные решения проблемы, описанные в РПУН (Руководство по поиску и устранению неисправностей) либо FIM (Fault isolation manual / руководство по поиску и устранению неисправностей).

Задача программы сводится к установлению причинно-следственных связей между зафиксированным ростом коэффициента аэродинамического сопротивления и данными технического состояния систем воздушного судна (рис. 6):

- медленная уборка шасси в результате неправильного ТО или неисправности системы;
- поздняя уборка вторичной механизации крыла самолета.



Рисунок 5 – Данные для одной системы ВС при работающем датчике, полученные при помощи сгенерированной программы. *Источник: составлено авторами*

Figure 5 – Data for one aircraft system with the sensor operating, obtained using the generated program *Source: Designed by the authors*

Неверное пилотирование самолета, в частности несвоевременная уборка предкрылков и закрылков, проверяется при помощи параметров полёта и активации органов управления в кабине пилота.

Следовательно, исходя из базы данных руководства по поиску и устранению неисправностей, программа делает вывод о возможном застывании смазки в элементе ООШ (основной опоры шасси), а также, имея доступ к базе данных диспетчерского отдела, фиксирует недавнее выполнение периодической формы ТО и предполагает неверное выполнение работы инженерно-техническим персоналом. Все эти данные накладываются на временной отрезок и анализируются сотрудниками отделов по обработке полетной информации (рис. 7).

Для количественной оценки уровня безопасности полётов и выявления ее зависимости от свойств авиационной транспортной системы используются специальные показатели (критерии). Количественная оценка безопасности целенаправленно укажет на роль бортовых самописцев в процессе нормальной эксплуатации, а также покажет конкретные цифры по уменьшению риска; для расчёта в таблице 1 указаны предположительные исходные данные статистических показателей. Тогда мы можем вычислить вероятность того, что при выполнении определенного числа полетов (или за определенный налёт) не произойдет ни одного инцидента, через такие показатели, как средний налёт на один инцидент, среднее количество полётов, приходящихся на один инцидент, а также вероятность безопасного завершения полёта.



Рисунок 6 – Данные для одной системы определенного ВС при неработающем датчике, полученные при помощи сгенерированной программы. *Источник: составлено авторами*

Figure 6 – Data for one system of a specific aircraft with a non-functioning sensor, obtained using a generated program. *Source: Designed by the authors*

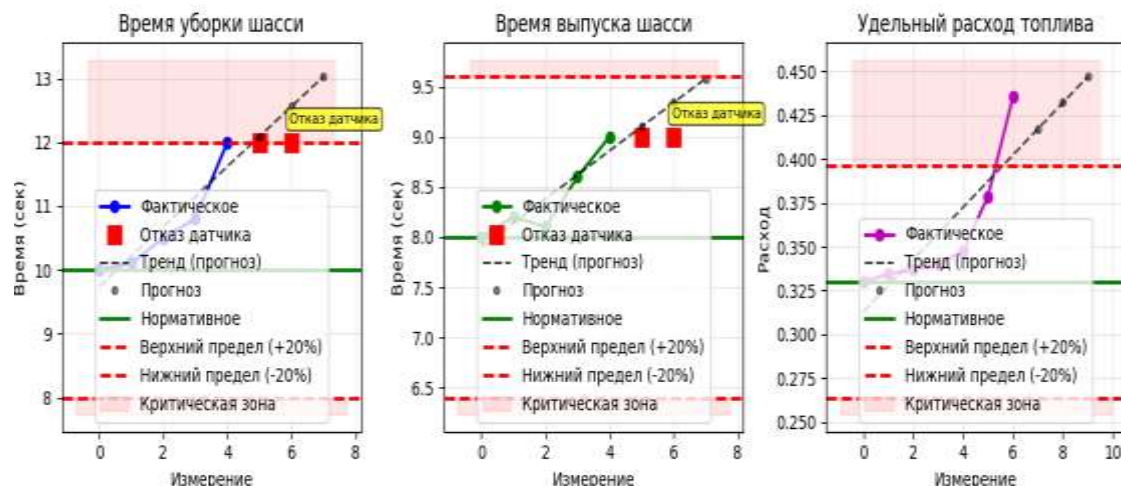


Рисунок 7 – Графики времени уборки и выпуска шасси, удельного расхода двигателя GE-90 и аппроксимирующие прямые. *Источник: составлено авторами*

Figure 7 – Graphs of landing gear retraction and extension times, specific fuel consumption of the GE-90 engine and approximating lines. *Source: Designed by the authors*

Таблица 1 – Предположительные исходные данные для расчета статистических показателей. *Источник: составлено авторами*

Table 1 – Estimated initial data for calculating statistical indicators. *Source: Compiled by the authors*

Тип ВС	Boeing 777-300ER	Было до внедрения специального ПО	После внедрения специального ПО
Количество самолётов в парке		194	194
Средний налёт на 1 самолет в год		3400	3400
Средняя продолжительность полёта		4 часа	4 часа
Количество инцидентов, всего		77	75
Система кондиционирования воздуха		5	5
Оборудование автоматического управления полётом		3	3
Система электроснабжения		2	2
Пожарное оборудование		4	4
Система управления самолётом		25	25
Гидравлическая система		9	9
Шасси		7	5
Водяная система		2	2
Силовая установка		17	17
Конструкция планера		2	2
Приборное оборудование		1	1

Первым действием в расчете статистических показателей будет определение среднего налёта на один инцидент:

$$T_{ин} = (\sum t_i) / n_{ин} = T_{общ} / n_{ин} = (3400 \times 194) / 77 = 8566ч, \quad (11)$$

где $T_{общ}$ – общий налёт парка ВС за рассматриваемый период;

$n_{ин}$ – количество инцидентов за рассматриваемый период.

Тогда среднее количество полётов, приходящихся на один инцидент, будет равно:

$$N_{ин} = \frac{N_{общ}}{n_{ин}} = \frac{\left(\frac{3400}{4}\right) \times 194}{77} = 2141ч, \quad (12)$$

где: $N_{общ}$ – общее количество рейсов всего парка.

После определения статистических показателей безопасности полётов можно определить вероятностные. Обычно в качестве вероятностных показателей БП на уровне авиакомпании рассматриваются два показателя:

– вероятность того, что не произойдет инцидент в одном полёте (вероятность безопасного завершения полёта);

– вероятность того, что при выполнении определенного числа полётов (или за определенный налёт) не произойдет ни одного инцидента.

Вероятность безопасного завершения полёта равна:

$$P_{БП} = 1 - \frac{n_{ин}}{N_{общ}} = 1 - \frac{77}{\left(\frac{3400}{4}\right) \times 194} = 0,99953305033 \quad (13)$$

Вероятность того, что при выполнении определенного числа полётов (или за определенный налёт) не произойдет ни одного инцидента:

$$P_o = e^{-n_{ин}} = e^{-77} = 3,6 \times 10^{-34} \quad (14)$$

Если на воздушных судах типа Boeing 777-300ER будут считываться данные с регистратора, указывающие время нахождения шасси в транзите, и это приведет к уменьшению количества инцидентов с системой шасси самолета, то указанная выше программа зафиксирует увеличенное время уборки шасси и предложит варианты решения проблемы, следовательно, удастся избежать некоторых отказов системы на земле. Тогда первым действием будет определение среднего налёта на один инцидент:

$$T_{ин} = 8795ч \quad (15)$$

Среднее количество полётов, приходящихся на один инцидент, будет равно:

$$N_{ин} = 2199ч \quad (16)$$

После определения статистических показателей безопасности полётов можно определить вероятностные. Обычно в качестве вероятностных показателей БП на уровне авиакомпании рассматриваются два показателя:

Вероятность безопасного завершения полёта равна:

$$P_{БП} = 0,9995451789 \quad (17)$$

Вероятность того, что при выполнении определенного числа полётов (или за определенный налёт) не произойдет ни одного инцидента:

$$P_o = e^{-75} = 2,7 \times 10^{-33} \quad (18)$$

Дискуссия (Discussion)

Различные сферы деятельности стали использовать труды ИИ (искусственного интеллекта) в своей профессиональной практике. Программа выполняет огромный спектр действий – от простого поиска необходимой информации до полноценного анализа данных, моделирования дальнейших действий по их использованию, а также самообучения.

В последнее время изучение развития и применения нейросетей выходит на «передний план» развития техники, а следовательно, и авиации. В работах следующих авторов – Камалова К. Ф., Соколова О. А. и др. – в их научных статьях исследовались возможности применения нейросетей в авиационной деятельности различных организаций [Камалов и др., 2023]. Благодаря их трудам определена примерная концепция внедрения программ, построенных на нейронной основе, описаны принципы работы сетей со стороны IT-инженерии; однако, несмотря на их проделанную работу, а также опыт зарубежных коллег, в котором описываются основные преимущества использования машинного обучения при создании программ, в этих работах не было рассмотрения перспектив применения AI для деятельности подразделений по полетной информации, а также системно образующегося вопроса – целесообразности внедрения ИИ (искусственного интеллекта) в программы, используемые при анализе отказов авиационной техники (прогнозировании), а также в непосредственное внедрение нейронной оболочки в ПИ (полетную информацию).

На БП (безопасность полетов), основной показатель коммерческих

перевозок, влияет также человеческий фактор [Safety..., 2017] сотрудников по расшифровке полетной информации, которые, в свою очередь, переключаются на большой объём информации на инженерно-координационный центр авиакомпании. Программа позволит уменьшить загруженность этих отделов, что благоприятно скажется на эксплуатации ВС в целом, сотрудники смогут больше времени тратить на другие немаловажные обязанности при работе с самолётами. При дальнейшей работе с данным направлением развития специализированного программного обеспечения возможно изучение влияния отсутствия модернизации программы для подразделений по полётной информации на показатели безопасной эксплуатации воздушного судна.

Результаты (Results)

В результате работы над усовершенствованием программного обеспечения для подразделений по полётной информации путем внедрения искусственного интеллекта удалось определить необходимые коэффициенты для обнаружения предотказного состояния системы «Выпуска и уборки шасси» (Формулы 1-10).

Ввиду своевременного технического обслуживания системы и обнаружения её деградации до момента авиационного инцидента удалось рассчитать при помощи статистических показателей вероятность безопасного завершения определенного количества полетов до и после модернизации приложения (Формулы 11-18). Фактический прирост показателя вероятности составил $|e^{-77} - e^{-75}|$ (рис. 8)

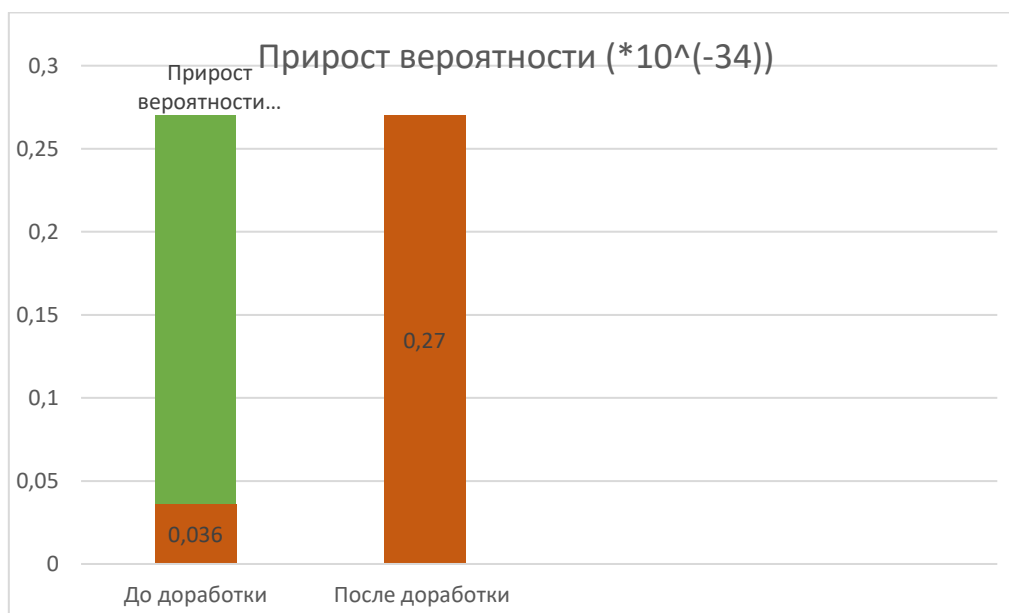


Рисунок 8 – Графическое изображение прироста вероятности безопасного завершения определенного количества полетов Boeing 777-300ER. *Источник: составлено авторами*

Figure 8 – Graphical representation of the increase in the probability of a certain number of Boeing 777-300ER flights ending safely. *Source: Designed by the authors*

Заключение (Conclusion)

Из рассчитанных показателей можно увидеть, что правильно проанализированные данные, полученные из расшифровки твердотельных носителей информации, увеличивают вероятность выполнения определенного числа полетов без инцидентов благодаря фиксации длительного отказа предложенной программой (в начальном варианте). Рассчитанная вероятность является «технической» – несет в себе только контроль системы «Выпуска и уборки шасси». При успешном развитии и реализации искусственного интеллекта в описанном выше направлении мы сможем более успешно и продуктивно контролировать уровень безопасности полетов гражданской авиации.

Благодаря использованию модернизированной программы по расшифровке полетной информации удалось увеличить вероятность безопасного завершения определенного количества полетов самолета Boeing 777-300ER на $|e^{-77} - e^{-75}|$.

Список литературы

- Долженко Я. А. Эволюция концепции «безопасность-и» и пути ее реализации в авиационной безопасности // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. №8-1(64). С. 65-69. EDN ZIESQS.
- Иванов С. Л. Сравнительная оценка интенсивности износа крупно-модульных зубчатых передач в зависимости от условий смазки / С. Л. Иванов, А. С. Фокин, А. А. Поддубная // Записки Горного института. 2009. Т. 182. С. 129-132. EDN KZEBEP.
- Камалов К. Ф. Анализ применения искусственного интеллекта в гражданской авиации / К. Ф. Камалов, О. А. Соколов // Вестник науки. 2023. Т. 3, №11(68). С. 896-901. EDN EAIPQS.
- Княжский А. Ю. Увеличение аэродинамического качества экраноплана за счет огибания волн / А. Ю. Княжский, А. В. Небылов, В. А. Небылов // Информационно-управляющие системы. 2017. №6(91). С. 24-28. DOI 10.15217/issn1684-8853.2017.6.24. EDN ZXWUTP.
- Никитин Е. А. Оптимизация профиля иглы жидкостно-газового амортизатора опоры шасси самолета / Е. А. Никитин, А. Е. Белкин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2023. №9(762). С. 3-13. DOI 10.18698/0536-1044-2023-9-3-13. EDN HNJKU.
- Осколкова З. Boeing приземлился в аэропорту Стамбула с невыпущенным шасси // РИА «Новый День» // [Электронный ресурс] – 2024. URL: <https://newdaynews.ru/incidents/826708.html?ysclid=mlawhq81d968879438> (дата обращения: 25.11.2025).
- Пархимович В. А. Конструкция самолета / В. А. Пархимович, В. Г. Ципенко. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2023. 128 с. EDN CYXMOB.
- Семенова А. А. Путь машинного обучения: междисциплинарный анализ развития технологий // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов 2024. Т. 10. С. 98-110. DOI 10.24412/2414-9241-2024-10-98-110. EDN LBRGRA.
- Скопина И. В. Использование ИИ в управлении образовательными организациями // Современные технологии управления. 2024. №3(107). EDN BPKVXX.
- Троицкий Н. И. Особенности проектирования ступени силовой турбины транспортного ГТД с регулируемым сопловым аппаратом / Н. И. Троицкий, В. Д. Моляков, М. В. Асейкина // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. №3(672). С. 30-38. EDN VOJGAJ.
- Ушаков Е. В. Уязвимость социотехнических систем и модель «швейцарского сыра» // E-Scio.

2020. №10(49). С. 385-389. EDN WMOCHP.

Что такое искусственный интеллект: как работает и где применяется // Platform V // [Электронный ресурс] – 2024. URL: <https://platformv.sbertech.ru/blog/iskusstvennyj-intellekt-chto-eto-takoe-opredelenie-kak-rabotaet-ii-chto-otnositsya-k-iskusstvennomu-intellektu> (дата обращения: 27.11.2025).

Шаров В. Д. Анализ выполнения стандартов ИКАО в программе безопасности полётов гражданской авиации России // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2026. №1. С. 6-28. DOI 10.51955/2312-1327_2026_1_6. EDN IAGAQU.

Якимович Н. В. "Черные дыры" в системе защиты гражданской авиации от негативных проявлений "человеческого фактора" // Проблемы безопасности полетов. 2016. №11. С. 22-26. EDN ХАСJJВ.

Safety Management Manual (SMM). Doc 9859-AN/474. Fourth edition // [Электронный ресурс]. 2017. – URL: https://www.aex.ru/imgupl/files/ICAO%20Doc%209859%20-%20SMM_Edition%204%20-%20Peer%20Review.pdf (дата обращения: 24.11.2025).

Zorina V. A. Literature Review on Artificial Intelligence in Journalism: A Bibliometric Analysis of Publications Indexed in the Web of Science and Scopus / V. A. Zorina, E. A. Osipovskaya // Theoretical and Practical Issues of Journalism. 2021. Vol. 10, №4. P. 734-744. DOI 10.17150/2308-6203.2021.10(4).734-744. EDN HHMKPW.

References

Dolzhenko Y. A. (2020). Evolution of the "safety-i" concept and ways of its implementation in aviation safety. *Actual scientific research in the modern world*. 8-1(64): 65-69. (in Russian).

Ivanov S. L., Fokin A. S., Poddubnaya A. A. (2009). Comparative assessment of the wear intensity of large-modulus gears depending on the lubrication conditions. *Notes of the Mining Institute*. 182: 129-132. (in Russian).

Kamalov K. F., Sokolov O. A. (2023). Analysis of the Application of Artificial Intelligence in Civil Aviation. *Bulletin of Science*. 3(11(68)): 896-901. (in Russian).

Knyazhsky A. Y., Nebylov A. V., Nebylov V. A. (2017). Increase in the aerodynamic quality of a hydrodynamic screen by wave-following. *Information and Control Systems*. 6(91): 24-28. DOI 10.15217/issn1684-8853.2017.6.24. (in Russian).

Nikitin E. A., Belkin A. E. (2023). Optimization of the Needle Profile of an Aircraft Landing Gear Liquid-Gas Shock Absorber. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Mechanical Engineering*. 9(762): 3-13. DOI 10.18698/0536-1044-2023-9-3-13. (in Russian).

Oskolkova Z. (2024). Boeing landed at Istanbul Airport with its landing gear retracted. *New day*. Available at: <https://newdaynews.ru/incidents/826708.html?ysclid=mlawhq81d968879438> (accessed 25 November 2025) (in Russian).

Parhimovich, V. A., Tsipenko V. G. (2023). Aircraft Design. Moscow: Publishing and Trading Corporation Dashkov and K, 2023. 128 p. (in Russian).

Safety Management Manual (SMM). Doc 9859-AN/474. Fourth edition. 2017. Available at: https://www.aex.ru/imgupl/files/ICAO%20Doc%209859%20-%20SMM_Edition%204%20-%20Peer%20Review.pdf (accessed 24 November 2025).

Semenova A. A. (2024). The Path of Machine Learning: An Interdisciplinary Analysis of Technology Development. *Problems of the Scientist's and Research Teams' Activities*. 10: 98-110. DOI 10.24412/2414-9241-2024-10-98-110. (in Russian).

Sharov V. D. (2026). Analysis of the Implementation of ICAO Standards in the Russian Civil Aviation Flight Safety Program. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*. 1 Pp. 6-28. DOI 10.51955/2312-1327_2026_1_6. (in Russian).

Skopina I. V. (2024). The Use of AI in the Management of Educational Organizations. *Modern Management Technologies*. 3(107). (in Russian).

Troitsky N. I., Molyakov V. D., Aseykina M. V. (2016). Features of Designing a Power Turbine Stage of a Transport GTE with a Variable Nozzle. *Proceedings of Higher Educational Institutions*.

Mechanical Engineering. 3(672): 30-38. (in Russian).

Ushakov E. V. (2020). Vulnerability of Socio-Technical Systems and the Swiss Cheese Model. *E-Scio*. 10(49): 385-389. (in Russian).

What is Artificial Intelligence: How It Works and Where It's Used. *Platform V*. (2024). Available at: <https://platformv.sbertech.ru/blog/iskusstvennyj-intellekt-chto-eto-takoe-opredelenie-kak-rabotaet-ii-chto-otnositsya-k-iskusstvennomu-intellektu> (accessed 27 November 2025) (in Russian).

Yakimovich N. V. (2016). "Black Holes" in the System of Protecting Civil Aviation from the Negative Effects of the "Human Factor". *Flight Safety Issues*. 11: 22-26. (in Russian).

Zorina V. A., Osipovskaya E. A. (2021). Literature Review on Artificial Intelligence in Journalism: A Bibliometric Analysis of Publications Indexed in the Web of Science and Scopus. *Theoretical and Practical Issues of Journalism*. 10(4): 734-744. DOI 10.17150/2308-6203.2021.10(4).734-744.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Черепов Вадим Вячеславович – аспирант, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский б-р, 20, Москва, 125493, Россия;
orcid.org/0009-0007-6768-0871; e-mail: ivanov2002.ivanoff@yandex.ru

Старков Евгений Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский б-р, 20, Москва, 125493, Россия;
orcid.org/0000-0003-0380-2714; e-mail: starkoff89@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vadim V. Cherepov, Postgraduate Student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 20 Kronshtadtsky Blvd, Moscow, 125493, Russia;
orcid.org/0009-0007-6768-0871; e-mail: ivanov2002.ivanoff@yandex.ru

Evgeniy Yu. Starkov, Cand. Sci. (Technology), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Flight and Life Safety, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 20 Kronshtadtsky Blvd, Moscow, 125493, Russia;
orcid.org/0000-0003-0380-2714; e-mail: starkoff89@mail.ru

Поступила в редакцию
Принята в печать
Опубликована

03.04.2026
20.05.2026
15.09.2026

Received
Accepted for publication
Published

03 April 2026
20 May 2026
15 September 2026