

Летательные аппараты, авиационные двигатели и методы их
эксплуатации/ Aircraft, Aircraft Engines and Methods of Their Operation

Научная статья

УДК 629.7

<https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-2-64>

ИССЛЕДОВАНИЕ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ПРИВОДЯЩИХ К ОТРЫВУ КАПОТОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ВО ВРЕМЯ РАЗБЕГА И ВЗЛЁТА

*Владимир Владимирович Древняк**,
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Москва, Россия

Егор Александрович Тарасов,
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Москва, Россия

Аннотация. Основной целью работы являлось установление и исследование прямых и косвенных причин отрыва капотов двигателей узкофюзеляжных воздушных судов (ВС) иностранного и отечественного производства при разбеге и взлёте.

В статье рассматривается проблема отделения створок капотов турбовентиляторных двигателей узкофюзеляжных воздушных судов на этапах разбега и начального набора высоты как системное эксплуатационное явление, обусловленное взаимодействием конструктивных решений, условий технического обслуживания и человеческого фактора. Установлено, что современная компоновка силовой установки, обусловленная требованиями к снижению риска наземного вихреобразования и попадания посторонних предметов во входное устройство, приводит к уменьшению клиренса и ухудшению эргономики операций с замками капотов. В комплексе с ошибками, допускаемыми при выполнении технического обслуживания, а также обстоятельствами различного рода, всё это приводит к повышению вероятности пропуска операции закрытия капотов и их последующему отрыву.

В данной статье рассмотрен эффект вихревого течения на входе в воздухозаборники авиадвигателей и его влияние на современную компоновку силовой установки на ВС. Была выявлена причинно-следственная связь между текущим расположением двигателей под крылом воздушного судна и открытым состоянием замков их капотов в ряде случаев во время разбега самолета по взлетно-посадочной полосе (ВПП).

Для понимания причин, обстоятельств и последствий большинства подобных событий на основе официального расследования был выполнен детальный разбор авиационного инцидента с отрывом створок капота левого двигателя, произошедшего с ВС RA-89112 12.01.2020 г. Произведены анализ и структуризация факторов, влияющих на невыполнение в полном объеме инженерно-техническим персоналом процедуры закрытия капотов двигателей. Дополнительно приводится краткая информация по всем имеющимся в истории эксплуатации ВС RRJ-95 инцидентам.

Для оценки критичности рассматриваемой категории событий использован риск-ориентированный подход с применением матрицы классификации риска ARMS. Проведенный анализ и декомпозиция конкретного АИ в сумме с результатами расчета показали, что эффективность оставшихся средств предотвращения, выполняющих роль

* Ответственный автор за связь с редакцией

барьеров между данным событием и наиболее правдоподобным последствием, относящимся к авиационному происшествию, является минимальной, а последствием могло оказаться как тяжелое авиационное происшествие, так и, при неблагоприятном стечении обстоятельств, катастрофа.

Полученные в данном исследовании результаты могут быть использованы для формулировки предложений по усилению технических и организационно-процедурных барьеров предотвращения происшествий, а именно: совершенствования элементов системы управления безопасностью полетов (СУБП); разработки методик, направленных на улучшение взаимодействия между человеком и окружающей его средой (система SHELL); обновления и актуализации руководств по летной и технической эксплуатации, разработки технических средств предотвращения отрыва капотов.

В совокупности все вышеупомянутые пункты способны сыграть значительную роль в обеспечении безопасности полетов и повышении эффективности авиационной отрасли.

Ключевые слова: человеческий фактор; турбореактивный двухконтурный двигатель; надежность бортового и авиационного оборудования; безопасность полетов; техническое обслуживание; техническая эксплуатация.

Для цитирования:

Древняк, В. В. Исследование и систематизация факторов, приводящих к отрыву капотов двигателей воздушных судов во время разбега и взлёта / В. В. Древняк, Е. А. Тарасов // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2026. – Том 13. – № 02. – С. 64-82. – <https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-2-64>

Вклад авторов в работу: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Original research article

**INVESTIGATION AND SYSTEMATIZATION OF FACTORS LEADING TO
THE SEPARATION OF AIRCRAFT ENGINES FAN COWLS DURING
TAKEOFF**

*Vladimir V. Drevnyak**,
*Moscow State Technical
University of Civil Aviation,
Moscow, Russia*

Egor A. Tarasov,
*Moscow State Technical
University of Civil Aviation,
Moscow, Russia*

Abstract. The main objective of the work was to identify and investigate the direct and indirect causes of engine fan cowl separation on single-aisle aircraft of foreign and domestic manufacture during the takeoff roll and takeoff.

The paper examines the loss of turbofan engine fan cowl doors on single-aisle aircraft during the takeoff roll and initial climb as a systemic operational phenomenon arising from the interaction of design solutions, maintenance conditions, and human factors. It is established that the modern power plant layout, determined by the need to reduce the risk of ground-induced vortex formation and foreign object ingestion into the engine inlet, results in reduced clearance and degraded

* Corresponding author

ergonomics of fan-cowl latch operations. In combination with maintenance-related errors and a range of operational circumstances, this increases the likelihood of omitting the fan-cowl closing/locking step and the subsequent cowl separation.

The paper also considers the effect of vortex flow at aircraft engine inlets and its influence on contemporary power plant layout on aircraft. A cause-and-effect relationship was identified between the current under-wing engine arrangement and, in some cases, the fan-cowl latches remaining unlocked during the takeoff roll on the runway.

To better understand the causes, conditions, and consequences of such events, a detailed review was conducted — based on the official investigation — of an incident involving separation of the left engine fan cowl doors on aircraft RA-89112 on 12 January 2020. The factors contributing to the incomplete execution of the fan-cowl closing procedure by maintenance personnel were analyzed and structured. In addition, brief information is provided on all fan-cowl separation incidents recorded in the operational history of the RRJ-95B aircraft.

To assess the criticality of this category of events, a risk-oriented approach was applied using the ARMS Event Risk Classification (ERC) matrix. The analysis and decomposition of the specific incident, together with the calculation results, showed that the effectiveness of the remaining preventive measures acting as barriers between the event and the most likely accident-related outcome is minimal; depending on circumstances, the consequence could range from a serious incident to, in an unfavorable scenario, a catastrophe.

The results of this study may be used to develop proposals aimed at strengthening technical and organizational-procedural prevention barriers, including improving elements of the Safety Management System (SMS), developing methods to enhance human-environment interaction (the SHELL model), and updating flight and maintenance operation manuals. Taken together, these measures can play a significant role in improving flight safety and increasing the efficiency of the aviation industry.

Keywords: human factor; turbofan engine; reliability of aircraft and aviation equipment; flight safety; maintenance; technical operation.

To cite this article:

Drevnyak, V. V., Tarasov, E. A. (2026). Investigation and systematization of factors leading to the separation of aircraft engines fan cowls during takeoff. *Crede Experto: transport, society, education, language*, vol. 13, no. 2, pp. 64-82 DOI: <https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-2-64> (in Russ.).

Author Contributions: contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Введение (Introduction)

Инциденты, связанные с отделением створок капота вентилятора, характеризуются сочетанием двух обстоятельств: событие развивается на высоких скоростях разбега либо на начальном наборе высоты, а первичный отказ силовой установки в большинстве случаев отсутствует. Пусковым механизмом выступает незапертое или неполностью запертое состояние замков капота, не выявленное на этапах обслуживания и контроля. С позиции системы управления безопасностью полётов такие события следует рассматривать как эксплуатационные риски с потенциалом вторичных повреждений (крыло, оперение, механизация, шасси, магистрали и агрегаты), способных привести к тяжёлым последствиям. Авиационные власти, в свою очередь, относят подобные

события к классу инцидентов¹, в рамках которых, вне зависимости от исхода, имеется необходимость в проведении расследования.

На основании материалов расследований и эксплуатационных наблюдений причины отделения створок целесообразно группировать следующим образом:

1. Процедурные нарушения во время и после проведения технического обслуживания на двигателях (незапертые замки, неполное смыкание створок, отсутствие повторной проверки после прерывания операции).

2. Техническая деградация механизма фиксации. Со временем узлы крепления и соединения капотов могут изнашиваться и повреждаться, что приводит к заклиниванию, закисанию и другим неисправностям механизмов. Это, в свою очередь, ведет к увеличению вероятности отрыва капотов.

3. Неправильная установка капотов. Неправильная установка капотов также может стать причиной отрыва. Если капоты установлены с нарушением технологии или использованы неподходящие крепёжные элементы, это может привести к ослаблению всей конструкции в узлах крепления и отрыву створок при разбеге и взлёте.

4. Воздействие внешних факторов. Капоты могут подвергаться воздействию различных внешних факторов, таких как столкновение с птицами или другими объектами, что также может привести к их повреждению и отрыву.

Практика показывает доминирование именно первой группы, поскольку она опирается на уязвимости интерфейса «человек–процедура–среда» и эффект «ложного закрытия», когда прикрытое положение створок визуально воспринимается как закрытое [Межгосударственный..., б.г.; Accident..., 2023; European Union..., s.a.]. В частности, данная проблема особенно часто проявляет себя на узкофюзеляжных ВС в связи со следующими факторами:

1. Низкое расположение двигателей относительно земной поверхности (клиренс) как следствие работ, проведенных в рамках минимизации вероятности возникновения вихревого течения на входе в воздухозаборник двигателя.

2. Человеческий фактор, имеющий место быть в любой сложной системе, основанной на взаимодействии человека с окружающей его действительностью (модели SHELL, «грязная дюжина», HFACS).

Оба этих фактора, а также большое количество отрывов капотов воздушных судов при разбеге и взлете, причиной которых стало неполное их закрытие после технического обслуживания, обуславливают актуальность проводимого исследования.

Для достижения цели данной работы использованы результаты математического и компьютерного моделирования других исследователей.

¹ Правила расследования авиационных происшествий и авиационных инцидентов с государственными воздушными судами в Российской Федерации (в ред. Постановлений Правительства РФ от 16.05.2024 №605): утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 2 декабря 1999 г. №1329. М.: АО «Кодекс», 2024. 91 с.

Материалы и методы (Materials and Methods)

Исследование основано на анализе инцидентов отрыва капотов вентиляторов двигателей на одноклассных (узкофюзеляжных) самолётах иностранного и отечественного производства (Boeing 737, Airbus A320 Family, RRJ-95). Используются официальные отчёты МАК (Межгосударственного авиационного комитета) по инциденту с самолётом RA-89112 от 12.01.2020 [Отчет по результатам..., 2020]. Дополнительно привлечены данные по 4 схожим инцидентам на RRJ-95 (RA-89023, RA-89004, RA-89120, RA-89170) [Межгосударственный...].

Применена модель SHELL для декомпозиции факторов: взаимодействия Liveware-Hardware (эргономика замков капотов), Liveware-Software (ошибки в процедурах ТО), Liveware-Environment (вихревое взаимодействие с ВПП) и Liveware-Liveware (человеческий фактор и «Грязная дюжина»). Факторы систематизированы по принципу «причины-условия-последствия».

Критичность событий оценена с использованием матрицы классификации риска событий (КРС) ARMS для распределения по вероятности и тяжести.

Дискуссия (Discussion)

Во времена становления реактивной гражданской авиации конструкторские бюро, в целях защиты новейших силовых установок от повреждений посторонними предметами, располагали их достаточно высоко относительно земли. Однако впоследствии им пришлось столкнуться с явлением вихреобразования, сделавшим высокое расположение двигателей неэффективным в плане защищенности.

Вихревое течение, возникающее между воздухозаборником и поверхностью аэродрома, является одной из причин, приводящих к забросу посторонних предметов (ПП) с поверхности аэродрома на вход в двигатель. Посторонние предметы, попадая в газотурбинные двигатели (ГТД), вызывают повреждения рабочих лопаток компрессора в виде забоин, царапин, вмятин, деформаций, абразивного износа (мельчайшие частицы), а в некоторых случаях – даже разрушение лопаток (рис. 1).

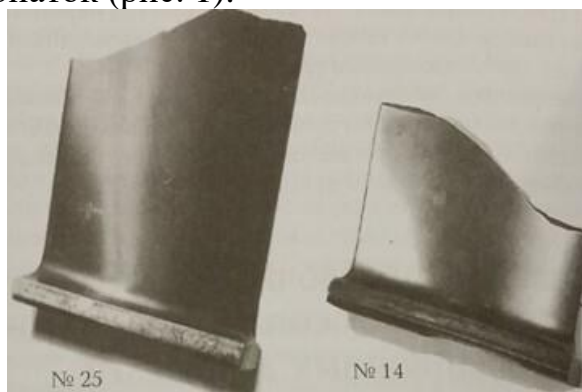


Рисунок 1 – Повреждение лопаток 1 ступени компрессора высокого давления двигателя Д-30КУ [Шанявский, 2007]

Figure 1– Damage to the blades of the first stage of the high-pressure compressor of the D-30KU engine [Shanyavskiy, 2007]

Статистические данные [Евдокимов и др., 1995] и исследования в данной области показывают, что использование средств наземного обслуживания (СНО) в целях очистки мест стоянок воздушных судов, рулежных дорожек и взлетно-посадочных полос для их регулярной и непрерывной эксплуатации хоть и снижает концентрацию ПП на поверхностях аэродрома до 2000 частиц на один квадратный метр (или 80 «опасных» частиц на участке длиной 500 метров), но не предотвращает полностью вероятность их попадания в двигатели ВС [Евдокимов и др., 1992].

Впервые исследование по теме снижения риска образования вихревого течения перед входом в воздухозаборник газотурбинного двигателя было инициировано национальным консультативным комитетом по воздухоплаванию США (НАСА) в 1955 году [Rodert et al., 1955].

Попадание вихря во внутренний контур двухконтурного турбореактивного двигателя вызывает сильные искажения полей скоростей, температуры и давления воздушного потока, что может привести к неустойчивой работе или помпажу двигателя (рис. 2) [Motycka, 1975].

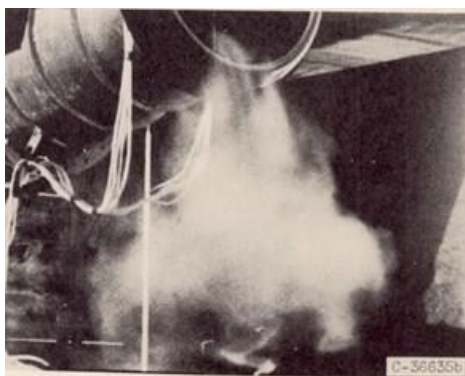


Рисунок 2 – Кадр спирально закручивающихся линий воздушного потока вокруг конденсированной влаги в центральной зоне вихревого течения, снятый при помощи талькового порошка, выпущенного через отверстия в поверхности испытательной платформы [Rodert et al., 1955]

Figure 2 – A still image of the spiraling air flow lines around condensed moisture in the central zone of a vortex flow, taken using talc powder released through holes in the surface of the test platform [Rodert et al., 1955]

Проводимые на протяжении многих лет исследования, которые могли бы обеспечить работу двигателя без образования вихревого течения на входе в воздухозаборник, не приносили никаких результатов. За это время инженерами были проработаны различные варианты защиты двигателей [Colehour et al., 1971]. В их числе были как механические системы предотвращения заброса посторонних предметов, так и струйные системы защиты по типу вихревых гасителей, устанавливаемых сейчас в рамках комплекта дополнительной защиты для осуществления взлёта и посадки на грунтовых и гравийных ВПП “Gravel kit” на ВС типа Boeing 737 Original/Classic.

Лишь в восьмидесятых годах XX века было найдено наиболее удачное конструктивное решение, которое могло бы обеспечить безвихревую работу газотурбинного двигателя. Оно заключалось в том, что на определенном расстоянии двигателя от поверхности аэродрома имеется зона безвихревой работы, существование которой обуславливается отношением высоты расположения двигателя к диаметру воздухозаборника. Таким образом, если значение данного соотношения находится в пределе от 0.8 до 0.9, то вероятность вихреобразования на входе в воздухозаборник двигателя будет стремиться к нулю (рис. 3).

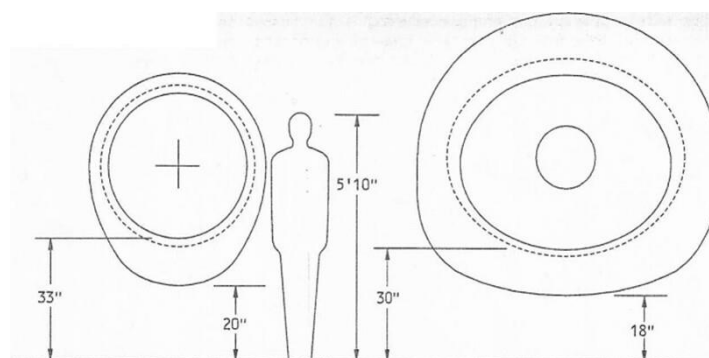


Рисунок 3 – Расположение двигателей относительно земли на ВС Boeing 737 Original (слева) и Boeing 737 Classic (справа)

Figure 3 – Engine placement relative to the ground on Boeing 737 Original (left) and Boeing 737 Classic (right)

Впоследствии данная «современная компоновка» силовой установки была взята на вооружение многими зарубежными авиастроительными предприятиями и до сих пор используется в качестве «стандарта» расположения двигателей на ВС. Из отечественных ВС наиболее приближенным к данному значению в настоящий момент является RRJ-95.

Для наилучшей наглядности была построена таблица относительной высоты расположения двигателей на различных типах ВС (рис. 4).

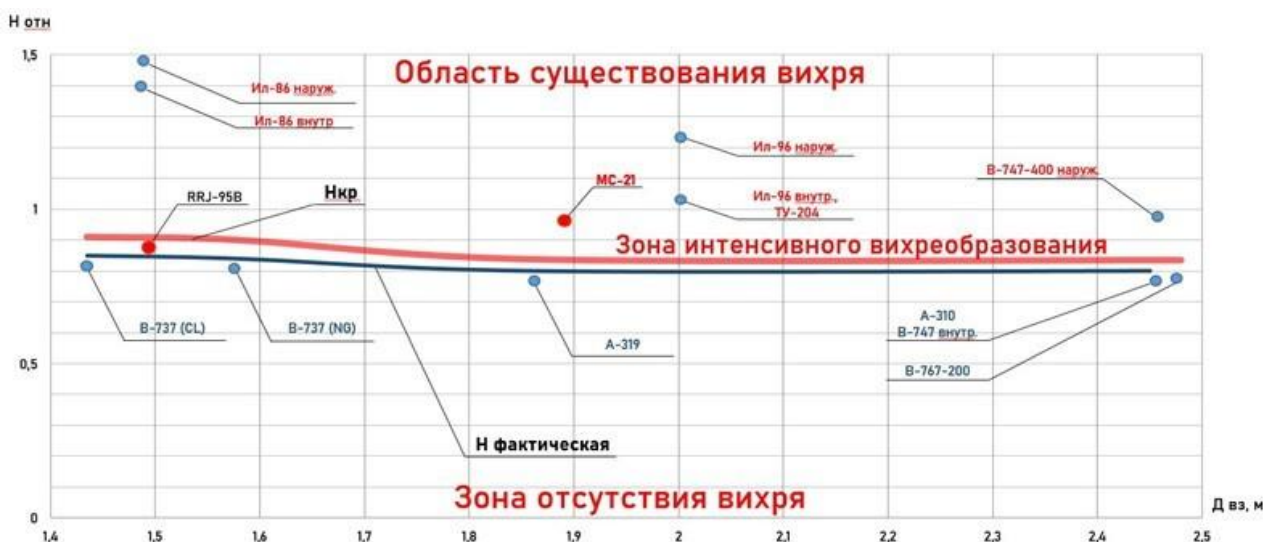


Рисунок 4 – Таблица относительной высоты расположения двигателей на различных типах ВС [Комов, 2016]

Figure 4 – Table of relative engine ground clearance heights for various aircraft types [Komov, 2016]

Обратившись к вышеупомянутой таблице, можно сделать вывод о том, что наиболее крупные и массовые производители ВС современности (Airbus и Boeing) уже достаточно давно используют полученные в результате исследований НАСА данные, чем обеспечивают высокий уровень защищенности двигателей от повреждений лопаток и входного направляющего аппарата посторонними предметами.

К сожалению, внесенные изменения не смогли остаться исключительно положительными. Такое расположение двигателей затрудняет их нормальную эксплуатацию, так как открытие, закрытие и инспекцию замков капотов приходится осуществлять в положении лёжа. В условиях различных внешних факторов (ограниченное время, отвлечение, стресс и т.д.) это становится предпосылкой для многочисленных отрывов капотов при взлёте, причиной которых часто становится их неполное закрытие после технического обслуживания (ТО).

Многочисленные исследования в области безопасности полётов показывают, что количество авиационных событий различного рода (авиационные происшествия, авиационные инциденты, катастрофы), причиной которых послужило влияние человеческого фактора, постоянно растёт. Происходит постепенное уменьшение доли событий, вызванных отказами в работе бортового оборудования и плохими метеоусловиями, в сравнении с которыми человеческий фактор, в большинстве случаев, не выглядит такой серьёзной проблемой. Однако при многократном игнорировании связанных с ним проблем они имеют свойство накапливаться, что, в конце концов, может нести в себе гораздо более значительную угрозу безопасности жизни пассажиров и экипажа на борту воздушного судна, а также значительные финансовые и

репутационные потери для авиакомпаний-эксплуатанта ВС и организаций, занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом.

Отразить данную тенденцию поможет график соотношения причин авиакатастроф, произошедших в период с 1908 г. по наше время (рис. 5) [Дьячков и др., 2020].



Рисунок 5 – График процентного соотношения причин катастроф, произошедших в период с 1908 г. по наше время

Figure 5 – Graph showing the percentage distribution of causes of accidents that occurred from 1908 to the present day

Полученные данные говорят о том, что современные воздушные суда оснащены в достаточной степени надёжными и устойчивыми системами, метеоусловия всё меньше влияют на возникновение происшествий и инцидентов, а влияние прочих опасных факторов также постепенно снижается. Наиболее опасным и трудноконтролируемым из этих факторов становится человеческий. Именно он, в комплексе с особенностями расположения силовой установки узкофюзеляжных ВС, в большинстве случаев, является причиной отрыва капотов при разбеге и взлёте.

Для понимания того, как человеческий фактор, в конечном итоге, может привести к упомянутым выше последствиям, были проанализированы итоги расследования авиационного события с ВС RA-89112 12.01.2020 г.

12 января 2020 года (23:06 МСК) при выполнении регулярного пассажирского рейса по маршруту Шереметьево – Ставрополь на ВС RRJ-95 RA-89112 в процессе выполнения взлёта произошел отрыв створок капота вентилятора левого двигателя.

Экипажем было принято решение о возврате на аэродром вылета. Во время проведения послеполётного осмотра судна был установлен факт отсутствия створок вентилятора левого двигателя. Позднее оторванные набегающим

потоком створки были найдены в зоне взлётно-посадочной полосы. Помимо этого, зарегистрированы многочисленные повреждения в виде вмятин на первой секции предкрылков левой плоскости крыла и хвостового оперения.

Полученные в результате инцидента повреждения изображены на рис. 6.



Рисунок 6 – Левая и правая сторона мотогондолы левого двигателя ВС RA-89112 после заруливания на место стоянки 12.01.2020 г. [Отчет по результатам..., 2020]

Figure 6 – Left and right sides of the engine nacelle of the left engine of aircraft RA-89112 after taxiing to the parking position on January 12, 2020 [Report on the results..., 2020]

Комиссией, расследовавшей данный инцидент, было установлено, что специалист инженерно-авиационной службы в процессе выполнения заправки маслом левого двигателя совершил утерю фонаря в подкапотном пространстве. С целью его извлечения техник выполнил процедуру открытия капотов. После извлечения фонаря из подкапотного пространства, в процессе закрытия капотов, специалист был отвлечен прибывшей на место стоянки воздушного судна буксировочной бригадой. Данное событие, по итогу, привело к тому, что замки капотов остались в открытом положении, так как техник забыл о необходимости их закрытия.

Во время выполнения предполётного осмотра воздушного судна открытое состояние замков капотов не было зафиксировано ни техником, выполнявшим процедуру выпуска ВС, ни командиром воздушного судна.

Исходом всех вышеупомянутых событий стало открытие и отделение створок капота вентилятора левого двигателя в процессе разбега ВС по взлётно-посадочной полосе.

После посадки воздушного судна в процессе осмотра было зафиксировано отсутствие двух створок капота вентилятора левого двигателя, разрушение фрагментов створок в узлах их навески, повреждения на элементах конструкции первой секции предкрылков левой плоскости крыла, а также многочисленные повреждения в виде вмятин и забоин на киле. Помимо этого, были проинспектированы механизмы сочленения капотов между собой (крюки и скобы стяжных замков), в результате чего было установлено отсутствие на них

каких-либо повреждений, что говорит об отсутствии контакта между ними (рис. 7, рис. 8).

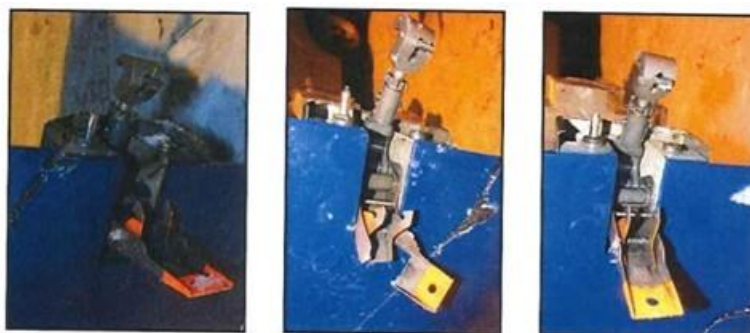


Рисунок 7 – Крюки стяжных замков оторванного капота ВС RA-89112 [Отчет по результатам..., 2020]

Figure 7 – Hooks of the tension locks of the torn-off cowl of the RA-89112 aircraft [Report on the results..., 2020]



Рисунок 8 – Скобы стяжных замков оторванного капота ВС RA-89112 [Отчет по результатам..., 2020]

Figure 8 – Brackets of the tension locks of the torn-off cowl of aircraft RA-89112 [Report on the results..., 2020]

На основании данного расследования [Отчет по результатам..., 2020] был построен типовой сценарий события, который включает в себя:

- техническое обслуживание с открытием створок;
- отвлечение и прерывание операции закрытия замков створок;
- прикрытое положение створки при незапертых замках;
- прохождение контроля со стороны экипажа и технического персонала без выявления дефекта;
- отделение створок на этапе разбега под действием аэродинамических нагрузок.

Сценарий относится к мультибарьерным отказам: ошибка исполнителя реализуется в событие при одновременной неэффективности процедур контроля и отсутствии технической индикации. Отсутствие характерных следов взаимодействия элементов стяжных механизмов типологически соответствует ситуации незакрытого состояния замков капотов.

Общий анализ эксплуатации ВС RRJ-95 выявил еще несколько авиационных событий, имеющих идентичную причинно-следственную цепь событий:

1. 13 февраля 2014 года у самолёта RA-89023 АК «Аэрофлот», выполнявшего рейс 1808, на взлёте из аэропорта Шереметьево (г. Москва) произошел отрыв обоих капотов двигателя №1.

2. 20 июля 2023 года у самолёта RA-89004 АК «Азимут», выполнявшего рейс 4929, на взлёте из аэропорта г. Минеральные Воды произошел отрыв обоих капотов двигателя №1.

3. 15 июня 2025 года у самолёта RA-89120 АК «Азимут», выполнявшего рейс 47053, на взлёте из аэропорта Внуково (г. Москва) произошел отрыв обоих капотов двигателя №2.

4. 15 ноября 2025 года у самолёта RA-89170 АК Россия, выполнявшего рейс 2461, на взлёте из аэропорта г. Благовещенска произошел отрыв обоих капотов двигателя №2.

Для детального рассмотрения авиационного события с ВС RA-89112 в работе использована широко применяемая в анализе безопасности модель «швейцарского сыра», предложенная Джеймсом Ризоном в начале 1990-х годов. В соответствии с данной концепцией аварийные ситуации в сложных социотехнических системах, как правило, не сводятся к единичной ошибке или одному отказу. Нежелательное событие формируется при совпадении нескольких взаимосвязанных условий и нарушений, которые «пробивают» последовательность защитных барьеров и в совокупности приводят к реализации отказа системы.

Применение модели Ризона к анализу рассматриваемого события позволяет выделить ряд факторов, повысивших вероятность его возникновения:

1. Метеорологические условия. Выполнение работ на открытом перроне в зимний период при низкой температуре и неблагоприятных явлениях (осадки, ветер) оказывает выраженное влияние на функциональное состояние специалиста. Длительное пребывание на холоде может приводить к переохлаждению, снижению точности движений и ухудшению координации, а также к падению когнитивной эффективности за счёт физиологической «экономии ресурсов» организма¹.

2. Темное время суток. Работа в темное время суток сопряжена с ухудшением визуального контроля и ростом утомляемости, что снижает устойчивость внимания. Дополнительным механизмом выступает нарушение циркадных ритмов: ночная активность повышает нагрузку на нервную систему, способствует накоплению стресса и формированию неблагоприятных психофизиологических состояний (раздражительность, нарушения сна и др.), которые имеют тенденцию к накоплению и усиливают вероятность ошибок.

¹ 2.2.7. Физиология труда и эргономика. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. Методические рекомендации. МР 2.2.7.2129-06: утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 19.09.2006 // [Электронный ресурс]. – 2015. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=104420> (дата обращения: 18.10.2025).

3. Спешка. Оперативное техническое обслуживание чаще всего выполняется в условиях жёстких временных рамок. Дефицит времени стимулирует ускорение действий, сокращение контрольных операций и повышает вероятность пропусков этапов технологических процедур, одновременно снижая общую эффективность работы.

4. Отвлекающие воздействия. Внешние и внутренние отвлекающие факторы (взаимодействие с другими службами, запросы, параллельные задачи, переключение внимания) уменьшают концентрацию, повышают вероятность незавершения операций и увеличивают длительность выполнения работ за счёт повторных действий и потери «контекстной памяти».

Отмеченные факторы согласуются с известной в авиации концепцией «грязной дюжины», предложенной Гордоном Дюпоном и распространённой Министерством транспорта Канады в виде обучающих материалов для инженерно-технического персонала в 1993 г. [The Human Factors..., s.a.]. Содержательно данная концепция фиксирует наиболее типичные состояния и когнитивные ловушки, систематически приводящие к ошибкам в производственной деятельности.

Таким образом, анализ показывает, что набор факторов, связанных с условиями труда и особенностями человеческого восприятия, на протяжении длительного времени остаётся устойчивым источником эксплуатационных ошибок в гражданской авиации. Следовательно, снижение риска требует развития и внедрения дополнительных методов предупреждения, направленных на усиление барьеров безопасности и повышение устойчивости процедур к влиянию человеческого фактора.

В рамках модели SHELL уязвимыми являются интерфейсы L–H (доступ к замкам, отсутствие однозначной индикации), L–S (дефицит процедур «прерывание–возврат», недостаточность независимого контроля), L–E (погодные условия, ночное время, дефицит времени), L–L (коммуникации и передачи информации). В терминах модели Ризона событие возникает при совпадении «отверстий» в нескольких защитных барьерах и относится преимущественно к ошибкам пропуска (omission errors).

Перспективным инструментом в рассматриваемой области стала матрица классификации риска событий (KPC / ERC), разработанная отраслевой рабочей группой ARMS в 2010 г. (рис. 9).

Вопрос 2. Какова была эффективность оставшихся барьеров между данным событием и наиболее правдоподобным сценарием, относящимся к авиационному происшествию?				Вопрос 1. Если бы данное событие привело к последствию, относящемуся к авиационному происшествию, каковым было бы наиболее правдоподобное последствие?		Типичные сценарии авиационных происшествий:
Эффективны	Ограничены	Минимальны	Не эффективны			
50	102	502	2500	Катастрофа	Потеря ВС, либо множественные человеческие жертвы (3 и более)	Потеря управления, столкновение в воздухе, неконтролируемое распространение пожара, взрывы, разрушение конструкции ВС, столкновение с поверхностью земли
10	21	101	500	Тяжелое авиационное происшествие	1 или 2 человеческие жертвы, множественные тяжелые травмы, крупный урон ВС, серьезное повреждение	Столкновение на рулежной дорожке на высокой скорости, серьезные травмы из-за турбулентности
2	4	20	100	Небольшие травмы или повреждения	Легкие травмы, незначительные повреждения ВС	Происшествие при буксировке, небольшое повреждение, нанесенное погодными условиями, урон от непогоды
1				Без последствий, относящихся к авиационному происшествию	Вероятность получения травм или повреждений отсутствует	Любое событие, которое не может перерасти в авиационное происшествие, даже если у него будут эксплуатационные последствия (например, изменение маршрута, задержка, недомогание)

Рисунок 9 – Матрица классификации риска событий, разработанная рабочей группой ARMS

Figure 9 – Event risk classification matrix developed by the ARMS working group

Основной задачей ARMS являлось формирование унифицированной и практико-ориентированной методики оценки эксплуатационных рисков для авиакомпаний и иных авиационных организаций, а также уточнение и стандартизация процедур управления рисками [Методология ARMS..., 2010]. Применение матрицы КРС позволяет не только определить относительный уровень опасности конкретного события, но и обосновать необходимость и приоритетность корректирующих мероприятий, направленных на предотвращение повторения аналогичных случаев (рис. 10).




-  → Немедленно расследовать и принять меры
-  → Расследовать или продолжить оценку риска
-  → Использовать для постоянного улучшения (записывается в базу данных)

Рисунок 10 – Цветовая индексация результатов матрицы КРС

Figure 10 – Color coding of the results of the event risk classification matrix

Важной особенностью методики является наличие двух типов результата:
– категориального (цветового), отражающего уровень риска и требуемую реакцию организации;

– численного, представленного индексом КРС, который удобен для сопоставления различных событий и накопления статистики. Диапазон индекса составляет от 1 до 2500, при этом каждому значению соответствует определённая ячейка матрицы.

Согласно правилам, установленным рабочей группой ARMS, имеется вероятность получения сразу нескольких результатов работы по одному фактически случившемуся сценарию. В таком случае следует выбрать результат, имеющий наибольший численный и цветовой индекс.

С учётом указанных принципов было установлено, что для события, произошедшего с ВС RA-89112 (12.01.2020) и завершившегося инцидентом, остаточные барьеры предотвращения между фактом незапертого состояния замков/отрыва створок и наиболее вероятным неблагоприятным исходом обладают низкой эффективностью. При менее благоприятном развитии сценария последствия могли бы эскалировать до тяжёлого авиационного происшествия, а при сочетании неблагоприятных факторов – до катастрофы.

Результаты (Results)

На основе выполненного анализа были выделены две группы мер, направленных на предотвращение рассматриваемых событий: технические и организационные.

К техническим мерам относятся: внедрение механической индикации положения замков; применение устройств, препятствующих переходу створки в «ложно закрытое» положение без фиксации; рассмотрение возможности установки датчиков положения замков с индикацией в кабине пилотов.

Организационные меры включают: регламент «прерывание–возврат» во время выполнения технического обслуживания (при любом отвлечении операция закрытия выполняется заново по чек-листу), обязательная независимая проверка после работ с открытием капотов, документирование факта открытия/закрытия даже для внеплановых операций, обучение типовым сценариям ошибок, нормирование применения вспомогательных средств (настил, освещение, зеркала) и развитие культуры безопасности на производстве.

Заключение (Conclusion)

В заключение следует отметить, что обеспечение безопасности полётов является основным требованием в сфере гражданской авиации в целом, поэтому любые, даже малейшие или относительно редкие ошибки и недочеты должны контролироваться и предупреждаться.

Была определена роль и выполнена комплексная оценка влияния человеческого фактора на процесс технического обслуживания узкофюзеляжных воздушных судов с учётом истории и развития научно-

технического прогресса в сфере гражданской авиации. Описана разработка «современной компоновки силовой установки» для воздушных судов и её влияние на эксплуатацию узкофюзеляжных ВС. Определена взаимосвязь такой компоновки с многочисленными случаями отрыва капотов двигателей ВС во время разбега и взлёта. Помимо этого, выведена статистика причин катастроф за всё время существования гражданской авиации, на основании которой, совместно с матрицей классификации риска событий группы ARMS, сделаны выводы о необходимости внедрения перспективных и современных вариантов снижения влияния человеческого фактора на авиационную сферу.

На основании приведённой выше статистики была определена необходимость в принятии регулирующих мероприятий, целью которых стало бы снижение вероятности возникновения аналогичных авиационных событий.

Список литературы

- Дьячков Д. В.* Анализ статистики авиакатастроф на основе исследования множества факторов / Д. В. Дьячков, О. В. Золотарев // Физико-техническая информатика (СРТ2020): Материалы 8-ой Международной конференции, Пушкино, Московская обл., 09–13 ноября 2020 года. Том Часть 2. Нижний Новгород: Автономная некоммерческая организация в области информационных технологий «Научно-исследовательский центр физико-технической информатики», 2020. С. 289-320. DOI 10.30987/conferencearticle_5fd755c09f2c91.06817396. EDN OWFUCK.
- Евдокимов А. И.* Анализ засоренности аэродромов базирования авиации ВВС посторонними предметами. Проблема защиты ГТД от повреждений посторонними предметами / А. И. Евдокимов, В. В. Кретов, С. М. Новицкий // Сборник докладов всесоюзной научно-технической конференции. Жуковский, 1992.
- Евдокимов А. И.* Характеристики посторонних предметов, появляющихся на аэродромных покрытиях в процессе эксплуатации: Конструкция и системы управления ГТД / А. И. Евдокимов, С. М. Новицкий, В. А. Попов // Сборник научно-методических материалов ВВИА. Москва, 1995.
- Комов А. А.* Оценка защищенности двигателей ПД-14 от повреждений посторонними предметами на самолете МС-21 // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 4-3. С. 586-591. EDN XWLHSX.
- Межгосударственный авиационный комитет / Расследования авиационных происшествий и инцидентов // [Электронный ресурс]. – URL: <https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (дата обращения: 23.11.2025).
- Методология ARMS для оценки эксплуатационных рисков в авиационных организациях / Разработано рабочей группой ARMS, 2007-2010 год // [Электронный ресурс]. – 2010. URL: https://helicopter.su/assets/media_sources/ehest-ihts/2016/ARMS/2%20-%20SMS%20-%20ARMS_Translation_RU.pdf (дата обращения: 20.11.2025)
- Отчет по результатам расследования авиационного инцидента с самолетом RRJ-95B RA-89112. М.: АМРИПП Росавиации, 2020. 104 с.
- Шанявский А. А.* Моделирование усталостных разрушений металлов. Уфа: Монография, 2007. 498 с. (Синергетика в авиации). EDN QMZVQT.
- Accident & Incident Data: Federal Aviation Administration // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: https://www.faa.gov/data_research/accident_incident (дата обращения: 20.11.2025).
- Colehour J. L.* The Inlet Vortex / J. L. Colehour, B. W. Farquhar // Journal of Aircraft. 1971. № 1. European Union Aviation Safety Agency (EASA) // [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.easa.europa.eu/en/home> (дата обращения: 21.11.2025).
- Motycka D. L.* Ground Vortex-Limit to Engine // Reverser Operation. 1975.

Rodert L. A. Ingestion of Foreign Objects into Turbine Engines by Vortices / L. A. Rodert, F. B. Garret. Washington: NACA. Technical note 3330, 1955. 23 p.
The Human Factors «Dirty Dozen»: Электронная библиотека SkyBrary // [Электронный ресурс]. URL: <https://skybrary.aero/articles/human-factors-dirty-dozen> (дата обращения: 18.10.2025).

References

- Accident & Incident Data: Federal Aviation Administration (2023). Available at: https://www.faa.gov/data_research/accident_incident (accessed 20 November 2025).
- Colehour J. L., Farquhar B. W. (1971). The Inlet Vortex. *Journal of Aircraft*. 1971. 1.
- Diachkov D. V., Zolotarev O. V. (2020). Analysis of statistics of air crashes based on the study of many factor. *Physics and Technology Informatics (CPT2020): Proceedings of the 8th International Conference*. 289-320. DOI 10.30987/conferencearticle_5fd755c09f2c91.06817396. (in Russian)
- European Union Aviation Safety Agency (EASA) Available at: <https://www.easa.europa.eu/en/home> (accessed 21 November 2025).
- Evdokimov A. I., Kretov V. V., Novitsky S. M. (1992). Analysis of the contamination of airfields based on Air Force aviation with foreign objects. The problem of protecting gas turbine engines from damage by foreign objects. *Collection of reports of the All-Union Scientific and Technical Conference*. Zhukovsky. 1992. (in Russian)
- Evdokimov A. I., Novitsky S. M., Popov V. A. (1995). Characteristics of foreign objects appearing on airfield surfaces during operation: Design and control systems of the gas turbine engine. *Collection of scientific and methodological materials of the VVIA*. Moscow, 1995. (in Russian)
- Interstate Aviation Committee / Investigation of aviation accidents and incidents. Available at: <https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (accessed 23 November 2025). (in Russian)
- Komov A. A. (2016). Assessment of PD-14 engines protection from damages in MS-21 plane. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 18(4-3): 586-591. (in Russian)
- Motycka D. L. (1975). Ground Vortex-Limit to Engine. *Reverser Operation*. 1975.
- Report on the results of the investigation of the aviation incident with the RRJ-95B RA-89112 aircraft. Moscow: AMRIPP Rosaviatsia, 2020. 104 p. (in Russian)
- Rodert L. A., Garret F. B. (1955). Ingestion of Foreign Objects into Turbine Engines by Vortices. Washington: NACA. Technical note 3330, 1955. 23 p.
- Shanyavskiy A. A. (2007). Modeling of fatigue fractures of metals. Ufa: *Monograph*, 2007. 498 p. (Synergy in aviation). (in Russian)
- The ARMS methodology for assessing operational risks in aviation organizations (2010) / Developed by the ARMS working group, 2007-2010. Available at: https://helicopter.su/assets/media_sources/ehest-ihts/2016/ARMS/2%20-%20SMS%20-%20ARMS_Translation_RU.pdf (accessed 20 November 2025). (in Russian)
- The Human Factors «Dirty Dozen»: Electronic Library «SkyBrary». Available at: <https://skybrary.aero/articles/human-factors-dirty-dozen> (accessed 18 October 2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир Владимирович Древняк, – кандидат технических наук, проректор по безопасности и развитию инфраструктуры, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский бульвар, д. 20, Москва, 125493, Россия; orcid.org/0009-0007-3882-707X; e-mail: v.drevnyak@mstuca.ru

Егор Александрович Тарасов – аспирант, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Кронштадтский бульвар, д. 20, Москва, 125493, Россия; orcid.org/0009-0003-2458-9219; e-mail: alatarasov54@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir V. Drevnyak, Cand. of Sci. (Technology), Vice-Rector for Security and Infrastructure Development, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 20 Kronshtadtsky blvd, Moscow, 125493, Russia;
orcid.org/0009-0007-3882-707X; e-mail: v.drevnyak@mstuca.ru

Egor A. Tarasov, Postgraduate Student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 20 Kronshtadtsky blvd, Moscow, 125493, Russia;
orcid.org/0009-0003-2458-9219; e-mail: alatarasov54@gmail.com

Поступила в редакцию	17.03.2026	Received	17 March 2026
Принята в печать	14.05.2026	Accepted for publication	14 May 2026
Опубликована	16.06.2026	Published	16 June 2026