

Научная статья

УДК 629.735.33

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=177674>

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИНТЕРЕСАХ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ

Станислав Вячеславович Дубинский¹, Владимир Викторович Стрелков²✉

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского
(ЦАГИ), Жуковский, Московская область, Россия

¹dubinski@tsagi.ru

²v_strelkov@tsagi.ru✉

Аннотация. Безопасность полетов остается приоритетной задачей в авиационной отрасли. Переход к предиктивным технологиям представляется сегодня наиболее перспективным подходом к решению данной задачи. Постоянный мониторинг характеристик силовой установки, бортового оборудования, состояния конструкции планера и действий экипажа в процессе эксплуатации позволяет заблаговременно выявить предпосылки к отказам или летным происшествиям и предпринять меры по их недопущению. В настоящей работе рассматриваются некоторые перспективные направления исследований в интересах построения комплексной системы управления безопасностью полетов, в том числе: мониторинг состояния конструкции самолета, мониторинг состояния силового привода и мониторинг

полетной ситуации. Результатом данных исследований должны стать обсуждаемые в работе демонстраторы предлагаемых технических решений и технологий.

Ключевые слова: безопасность полетов, мониторинг состояния, предиктивная диагностика, анализ данных, усталостная повреждаемость, целостность конструкции, ударное воздействие, система ситуационной осведомленности, грубая посадка, демонстратор технологии

Для цитирования: Дубинский С.В., Стрелков В.В. Перспективные направления исследований в интересах построения комплексной системы управления безопасностью полетов // Труды МАИ. 2023. № 133. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=177674>

Original article

PROMISING RESEARCH AREAS AIMED AT BUILDING AN INTEGRATED FLIGHT SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

Stanislav V. Dubinsky¹, Vladimir V. Strelkov²✉

Central Aerohydrodynamic Institute named after Professor N.E. Zhukovsky (TsAGI),
Zhukovsky, Moscow Region, Russia

¹dubinski@tsagi.ru

²v_strelkov@tsagi.ru✉

Abstract. Flight safety remains a priority challenge in the aviation industry. The transition to predictive technologies seems to be the most promising way to meet this challenge today. Continuous monitoring of power plant characteristics, on-board equipment, airframe structure health status and the flight crew actions during operation allows early

identification of prerequisites for failures or flight incidents or accidents in order to take measures to prevent and counteract them. This paper considers some promising areas of research aimed at building an integrated flight safety management system, including a system to monitor the state of aircraft structure, the condition of power plant and the current flight situation as a whole. These researches should result in demonstrators of the proposed technical solutions and technologies discussed in this paper.

The researches of on-board systems for aircraft structure health monitoring include the three following areas:

- 1) monitoring of accumulated growing fatigue damage (safe operation life monitoring);
- 2) monitoring of structure integrity (detection of cracks, corrosion pits, etc.);
- 3) impact damages events monitoring (localization and impact energy recovery).

The first of the three focus areas mentioned above is the most elaborated one. Progress in the fiberoptic technology opens the prospects for fitting all aircraft by system of optic strain gauges and improving technology of accumulated fatigue damage monitoring. On-line monitoring technologies of airframe integrity and impact damages localization are now at a stage of laboratory study.

At the present time, electric power supply actuators are widely used in unmanned vehicles and they have some prospect to be used in the advance “more electric” aircraft. Therefore, its health status has to be revising in operation. Monitoring technology for electromechanical actuator and its demonstrator are discussed in the paper.

One more research area for flight safety is monitoring of flight situation and prediction of its progress. The advanced runway overrun awareness and alerting system, its functionality, architecture and ground based demonstrator are discussed.

Keywords: Flight safety, health status monitoring, predictive diagnostics, data analysis, fatigue damageability, structural integrity, composite structure, shock impact, situational awareness system, rough landing, technology demonstrator

For citation: Dubinsky S.V., Strelkov V.V. Promising research areas aimed at building an integrated flight safety management system. *Trudy MAI*, 2023, no. 133. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=177674>

Введение

Область безопасности полетов регулируется большим количеством нормативных документов. В качестве документа самого высокого уровня в гражданской авиации можно рассматривать Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полетов», которое требует в каждой из стран, подписавших Конвенцию, наличия на государственном уровне национальной системы управления безопасностью полетов (СУБП) или, по терминологии некоторых российских источников [1], - Государственной программы по безопасности полетов (ГосПБП). В рамках ГосПБП государством должны выявляться и устраняться все возможные риски для безопасности полетов.

Согласно Приложению 19, задачами национальных СУБП являются:

1. Проведение государственной политики в целях обеспечения безопасности полетов.
2. Управление рисками для безопасности полетов на государственном уровне.
3. Обеспечение безопасности полетов на государственном уровне.
4. Популяризация вопросов безопасности полетов в авиационном сообществе.

Система управления безопасностью полетов предполагает реализацию системного подхода к решению проблемы, включая наличие необходимой организационной структуры, иерархию ответственности, руководящие принципы и процедуры. То есть СУБП – это, прежде всего, разветвленная организационная структура, призванная решать задачи безопасной эксплуатации воздушного транспорта. Структура СУБП объективно должна охватывать все ведомства и компании, имеющие отношение к рассматриваемой проблеме, рисунок 1: Авиационные власти, авиакомпании, аэропорты, службу аэронавигации, разработчиков авиационной техники и др.

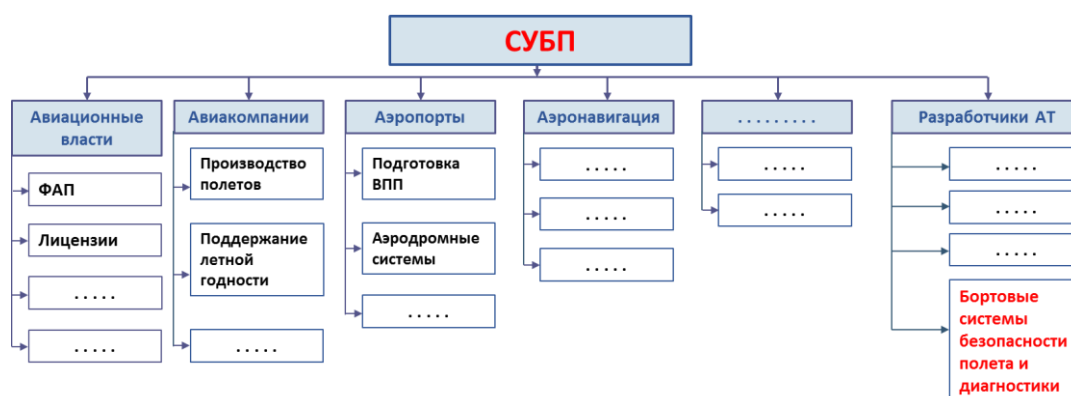


Рис. 1. Структура системы управления безопасностью полетов

Каждый из участников государственной программы решает свои задачи в интересах достижения общей цели. Например, Авиационные власти определяют

политику в области безопасности полетов, отвечают за разработку Федеральных авиационных правил, сертификацию авиационной техники и аэропортов, лицензирование и пр. На разработчиках авиационной техники в большей мере лежит ответственность за надежность и отказобезопасность создаваемых летательных аппаратов. Эти качества воздушных судов достигаются за счет разработки соответствующих аэродинамических компоновок, конструкций планера, необходимых бортовых систем, организации мониторинга технического состояния летательного аппарата, а также действий экипажа при выполнении полетного задания. Спектр деятельности научно-исследовательских институтов авиационной промышленности включает как разработку перспективных технических решений, так и формирование предложений по совершенствованию нормативной базы безопасности полетов.

Важным этапом процесса разработки авиационной техники является создание демонстраторов технологий обеспечения безопасности полетов. Под демонстратором понимается «фактическая или виртуальная модель, которая используется, чтобы оценить техническую или производственную осуществимость, а также возможность и полезность операционного применения конкретной технологии, процесса, концепции разрабатываемого изделия или конечной системы» [2]. Очевидно, что применительно к СУБП нельзя говорить о каком-то одном демонстраторе.

Бортовые системы технической диагностики и обеспечения безопасности полетов

Статистика авиационных происшествий (АП) показывает, что примерно в 50% случаев основной причиной АП являются ошибки экипажа, еще 20%÷25% приходится на отказы авиационной техники, далее следуют метеоусловия (10%÷15%), ошибки наземного персонала и др. Поэтому в качестве приоритетных направлений исследований в интересах повышения безопасности полетов можно выделить работы, связанные с интеллектуальной поддержкой действий экипажа на основе анализа текущей полетной ситуации, а также технологии мониторинга состояния самолета и своевременного выявления предпосылок к отказам и непосредственно к происшествиям. Среди отказов самолетных систем отдельно фиксируются отказы конструкции планера (повреждения и разрушения элементов конструкции), которые потенциально являются наиболее опасными из-за возможных последствий. Тот факт, что на долю таких отказов приходится не более 3%÷4% от общего количества (смотри таблицу 1), говорит о высокой эффективности сложившейся системы обеспечения безопасности полетов по условиям прочности. Внедрение новых материалов, прежде всего композитов, требует постоянного совершенствования данной системы.

Количество зафиксированных отказов по годам (по данным Росавиации)

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Отказы авиационной техники (АТ)	383	420	435	447	341	450
Отказы конструкции планера (КП)	14	10	9	6	4	12
Отказы КП/отказы АТ*100	3.6%	2.4%	2.0%	1.3%	1.2%	2.7%

На борту современного самолета нет отдельного блока, который отвечает за безопасность полетов. Практически все бортовые системы объединены в единый комплекс бортового оборудования, в который входят десятки систем. Состояние каждой из систем в той или иной степени влияет на безопасность.

За контроль технического состояния самолета отвечают следующие бортовые системы:

1. Бортовая система технического обслуживания – БСТО (Centralize Maintenance System – CMS).
2. Система мониторинга состояния самолета (Aircraft Condition Monitoring System – ACMS).
3. Система мониторинга состояния конструкции (в перспективе).

Бортовые системы технического обслуживания самолетов разных авиапроизводителей решают схожий перечень задач. Например, БСТО на SSJ-100 имеет следующий функционал [3]:

- сбор в режиме реального времени, хранение информации обо всех отказах (неисправностях), поступающей от блоков самодиагностики основных

самолетных систем, передача информации об отказах на наземный сервер через систему ACARS во время полета;

- контроль состояния и тестирование систем персоналом на земле;
- загрузка обновлений программного обеспечения для бортовых систем.

Системы мониторинга состояния самолета (ACMS) принципиально отличаются от систем технического обслуживания. Данные системы решают следующие задачи:

- повышение безопасности полетов за счет постоянного мониторинга характеристик самолета;
- повышение степени готовности самолета к полету;
- снижение расходов на диагностику и техническое обслуживание.

ACMS не ограничивается фиксацией случившихся отказов основных систем, а контролирует значения текущих характеристик самолета и двигателя и сопоставляет их с номинальным уровнем. Тренд-анализ отклонений текущих значений летно-технических характеристик и параметров работы бортовых систем и двигателя позволяет судить об уровне деградации характеристик воздушного судна и прогнозировать риски отказов, что фактически открывает путь к переходу к техническому обслуживанию «по состоянию». Система мониторинга в режиме реального времени анализирует значения контролируемых параметров, формирует специальные отчеты и передает их на наземный сервер через ACARS для последующей обработки.

В рамках системы мониторинга состояния самолета открываются широкие

возможности для мониторинга состояния всех бортовых систем, в том числе системы управления, а также состояния самолета в целом через контроль деградации его летно-технических характеристик. В перспективе, в структуре ACMS можно рассмотреть и возможность организации мониторинга состояния конструкции. ACMS вместе с рассмотренной выше CMS (БСТО) в большой степени закрывают вопросы диагностики при организации технического обслуживания самолета. Две эти системы не только фиксируют выявленные отказы, но позволяют прогнозировать риск отказов на основании анализа временных трендов ключевых параметров, характеризующих работу бортового оборудования и двигателя (уровень вибраций, расход топлива, углы отклонения рулевых поверхностей на установившихся режимах полета и пр.).

Из отечественных самолетов транспортной категории только SSJ-100 оснащен такой системой. Известно, что сервисный центр компании PowerJet использует отчеты ACMS о состоянии двигателя для контроля его работы и выполнения своевременного технического обслуживания.

Бортовые системы диагностики состояния конструкции до настоящего времени не нашли широкого распространения при том, что некоторыми компаниями делаются попытки разработки таких систем.

Эксплуатационные повреждения конструкции (вмятины от ударов, трещины и очаги коррозии) выявляются на земле в процессе регулярных осмотров воздушных судов с применением методов неразрушающего контроля.

Бортовая система мониторинга усталостной повреждаемости конструкции («счетчик бортового ресурса») на протяжении многих лет рассматривается как

перспективная система и за рубежом, и в России. В ЦАГИ разработана и отработана на ряде российских самолетов (Як-42, Ту-204, Бе-200 и др.) методика оценки усталостной повреждаемости конструкции из дюралюминиевых сплавов [4, 5, 6], но до настоящего времени эта методика не реализована в виде бортовой системы. У разработчиков и эксплуатантов самолетов сохраняется определенный интерес к подобной системе, однако сегодня в связи с применением композитов в силовых элементах конструкции чаще поднимается вопрос о создании методик мониторинга состояния конструкций из композиционных материалов.

К бортовым системам обеспечения безопасности полетов можно отнести следующие:

1. Комплексная система управления с функциями алгоритмического ограничения предельных режимов полета.
2. Система предупреждения (Flight Warning System – FWS).
3. Система предотвращения столкновений в воздухе (Traffic Collision Avoidance System – TCAS).
4. Система предупреждения о столкновении с землей (Terrain Awareness and Warning System – TAWS).
5. Система ситуационной осведомленности и предупреждения о выкатывании с ВПП (Runway Overrun Awareness and Alerting System – ROAAS) и др.

Наличие на борту первых 4-х из упомянутых систем уже давно является фактически стандартом для любого современного магистрального воздушного судна. Система ситуационной осведомленности экипажа на посадке (ССО) относится к новому классу так называемых «интеллектуальных» систем (систем

поддержки принятия решения), которые оценивают текущую полетную ситуацию на основании всей доступной информации и делают прогноз ее развития.

Оснащение воздушных судов такими системами – это реализация проактивного подхода к снижению количества авиационных происшествий, который, в отличие от традиционной формулы «отреагировать на происшествие и не допустить в дальнейшем», строится по принципу «предвидеть и предотвратить». Особое внимание к режиму захода на посадку связано с тем, что примерно 30% авиационных происшествий приходится на грубые посадки и выкатывания самолетов с ВПП. Исследованию данной проблемы посвящено значительное количество работ [7-13].

Разработка ССО отражает современный тренд в разработке авиационной техники ведущими авиапроизводителями. Компании Airbus и Boeing уже в течении ряда лет предлагают авиакомпаниям самолеты с системами предотвращения выкатывания с ВПП, которые информируют экипаж о повышенном риске авиационного происшествия на посадке [14-18].

Международное авиационное сообщество не оставило без внимания данный тренд. Текущая версия нормативного документа CS-25 «Нормы летной годности самолетов транспортной категории» [19] содержит пункт 25.705 «Система ситуационной осведомленности и предупреждения о выкатывании с ВПП», который требует обязательного наличия на борту системы предотвращения выкатывания самолета за торец ВПП:

«На самолете должна быть установлена система ситуационной

осведомленности и предупреждения о выкатывании с ВПП (Runway Overrun Awareness and Alerting System - ROAAS). ROAAS должна снижать риск продольного выкатывания во время посадки путем предупреждения экипажа в воздухе и на земле, когда самолет находится в зоне риска невозможности остановиться в пределах располагаемой дистанции до конца ВПП.

А) При заходе на посадку (с заданной высоты относительно выбранной ВПП) и посадке система ситуационной осведомленности и предупреждения о выкатывании с ВПП должна в реальном масштабе времени выполнять расчеты прогнозируемой точки остановки, сравнивать координату этой точки с положением конца ВПП и обеспечивать экипаж:

(1) В полете - заблаговременными и четкими прогнозными предупреждениями о риске выкатывания за торец ВПП.

(2) На земле - заблаговременными и четкими прогнозными предупреждениями о риске выкатывания за торец ВПП. Опционально (по усмотрению Заявителя) система ситуационной осведомленности и предупреждения выкатывания может также включать автоматические средства управления торможением, которые предотвращают или минимизируют выкатывания самолета с ВПП при посадке.

В) Как минимум ROAAS должна быть приспособлена:

- для условий сухой и мокрой ВПП;
- для предусмотренных посадочных конфигураций».

Относительно даты вступления в силу данной редакции документа, вероятно,

можно ориентироваться на Европейский региональный план обеспечения безопасности полетов 2022÷2024 [20], в котором есть пункт EUR.RTM.0067 «Уменьшение количества выездов за пределы ВПП». Результатом выполнения упомянутого пункта плана является внесение изменений в действующую нормативно-правовую базу, указан срок - IV квартал 2023 года.

Таким образом, наличие системы предотвращения выкатывания самолета с ВПП становится обязательным требованием для всех разработчиков региональных и магистральных самолетов.

Демонстраторы систем мониторинга состояния конструкции

Исследования в области бортовых систем мониторинга состояния конструкции проводятся по трем основным направлениям:

- мониторинг усталостной повреждаемости (расходование ресурса);
- мониторинг целостности конструкции (обнаружение трещин и др.);
- мониторинг ударных повреждений (локализация и определение энергии ударных воздействий на конструкцию).

Разработанная в ЦАГИ технология мониторинга усталостной повреждаемости имеет высокий уровень готовности ($TRL=4\div5$), поскольку ее базовые элементы отработаны на реальных полетных данных, но пока не внедрены на эксплуатируемых летательных аппаратах. Суть апробированного подхода заключается в том, что на этапе летных испытаний тензометрированного самолета устанавливаются функциональные зависимости между параметрами полета и нагруженностью отдельных элементов конструкции (прежде всего тех, которые

были тензометрированы в летных испытаниях). При этом уточняется математическая модель напряженно-деформированного состояния самолета (цифровой двойник). Далее в летной эксплуатации на основании уточненной расчетной модели НДС вычисляются нагрузки и усталостная повреждаемость критических элементов планера за полет через регистрируемые параметры (вес летательного аппарата, полетная конфигурация, число Маха, нормальная перегрузка и т.д.). Таким образом может быть организован индивидуальный учет накопленной усталостной повреждаемости элементов конструкции каждого борта по всему парку самолетов.

Прогресс в области анализа больших объемов данных, средств измерения, передачи и накопления информации открывает возможности для дальнейшего развития данной технологии. В частности речь идет о следующих потенциально интересных направлениях модернизации технологии мониторинга:

- Оснащение серийных самолетов дополнительной штатной распределенной измерительной системой локальных деформаций, например, на основе волоконно-оптических тензодатчиков в качестве альтернативы использования расчетной модели НДС.
- Применение методов машинного обучения для установления функциональных зависимостей между параметрами полета и нагруженностью отдельных элементов конструкции, рисунок 2.
- Автоматизация процесса обработки результатов измерений и накопления результатов.

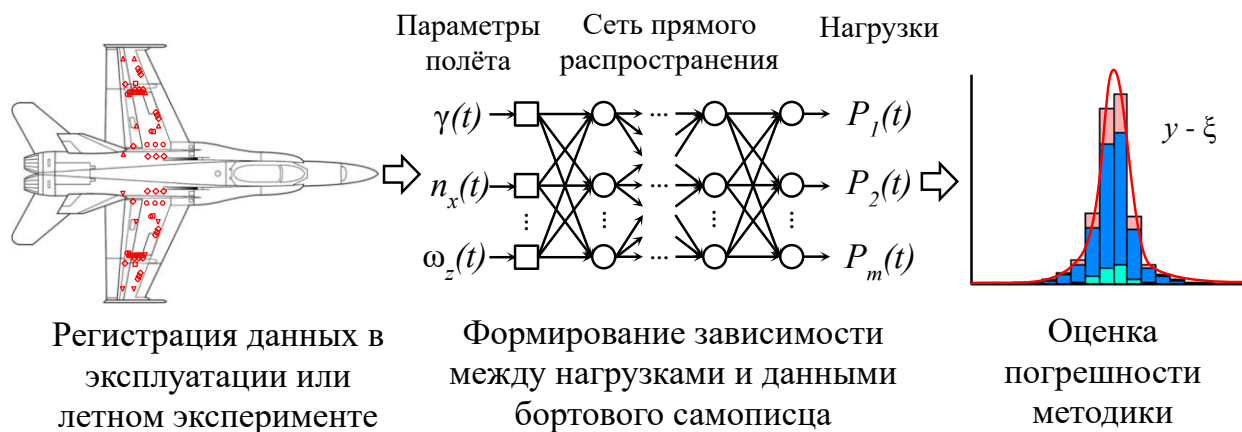


Рис. 2. Схема определения нагруженности по параметрам полёта с помощью нейронных сетей

Все перечисленные направления совершенствования технологии мониторинга требуют дополнительных исследований, апробации и аттестации, прежде чем будут интегрированы в ее состав. Демонстратором данной технологии могла бы быть система мониторинга усталостной повреждаемости, разработанная применительно к одному из существующих самолетов, который прошел (или проходит) полный цикл наземных и летных прочностных испытаний.

Состояние разработок в области мониторинга целостности конструкции планера самолета (обнаружение трещин, очагов коррозии и пр.), прежде всего из алюминиевых сплавов, не позволяет говорить о перспективах быстрого внедрения таких систем на парке самолетов. В первую очередь из-за отсутствия соответствующих датчиков для построения бортовой системы, которая должна отвечать определенным требованиям, в том числе по технологичности и ремонтпригодности. Датчики, которые в настоящее время используются для выявления трещин (проволочные датчики трещин, фольговые вихретоковые

датчики, вакуумные системы, датчики акустической эмиссии и др.), могут рассматриваться только для применения на лабораторных (препарированных) образцах конструкций.

Сегодня от промышленности есть запрос на мониторинг состояния силовых элементов планера из полимерных композиционных материалов (ПКМ). В отличие от металла, для углекомпозиита локальное ударное воздействие на поверхность может оказать существенное влияние на прочностные характеристики всего элемента конструкции из-за возможных внутренних разрушений. При этом на поверхности не всегда остаются видимые следы удара. Локализация места удара и определение его энергии позволяет оценить степень возможного повреждения конструкции и необходимость ремонтно-восстановительных работ после более детальной наземной диагностики.

На пути разработки технологии мониторинга ударных воздействий на конструкцию планера предстоит решить значительное количество вопросов, начиная с выбора типов датчиков регистрации удара, необходимого их количества в бортовой измерительной системе, размещения датчиков, методов обработки и анализа зарегистрированной информации. На данный момент целостной методики оценки повреждений по параметрам ударных воздействий, полученных по показаниям измерительной системы, не существует. С целью отработки технологии целесообразно на начальном этапе продемонстрировать работоспособность отдельных ее составляющих в лабораторных условиях на тестовых образцах (композиционных панелях простой формы) на специальном стенде, оснащенный надлежащим измерительным и регистрирующим оборудованием.

В состав демонстратора такой системы должен входить стенд ударных воздействий, набор тестовых образцов и соответствующее программное обеспечение (ПО) для регистрации, обработки и анализа результатов экспериментальных исследований, рисунок 3.

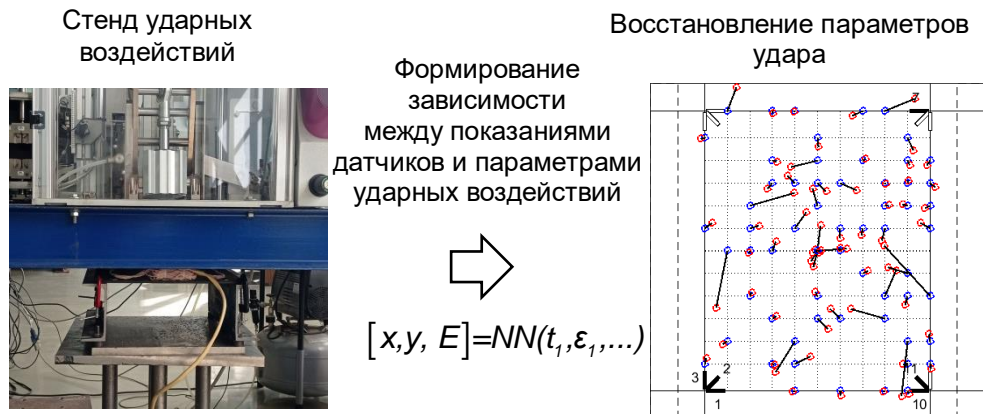


Рис. 3. Демонстратор системы мониторинга ударных воздействий

Демонстратор системы мониторинга состояния рулевого привода

Работоспособность комплексной системы управления (КСУ) в значительной степени определяет безопасность полетов. Характеристики, отдельных компонентов КСУ могут ухудшаться в процессе эксплуатации. В настоящей работе акцент делается на мониторинге состояния электромеханического рулевого привода (ЭМРП). Такой тип привода широко используется для отклонения основных рулевых поверхностей беспилотных летательных аппаратов и имеет определенные перспективы внедрения на пилотируемых самолётах в связи с интересом к концепции «более электрического самолета» [21-22].

ЭМРП представляет из себя следящую систему, преобразующую входной сигнал (аналоговый или цифровой) в перемещение (или поворот) выходного звена в

заданное положение. Со временем происходит деградация электрической и механической частей рулевого привода.

На рисунке 4 приведен пример роста люфта привода в процессе его продолжительных испытаний на стенде испытания рулевых приводов в НИО-15 ЦАГИ, рисунок 5. Измерения показали, что после каждого следующего цикла испытаний под нагрузкой размер люфта увеличивается.

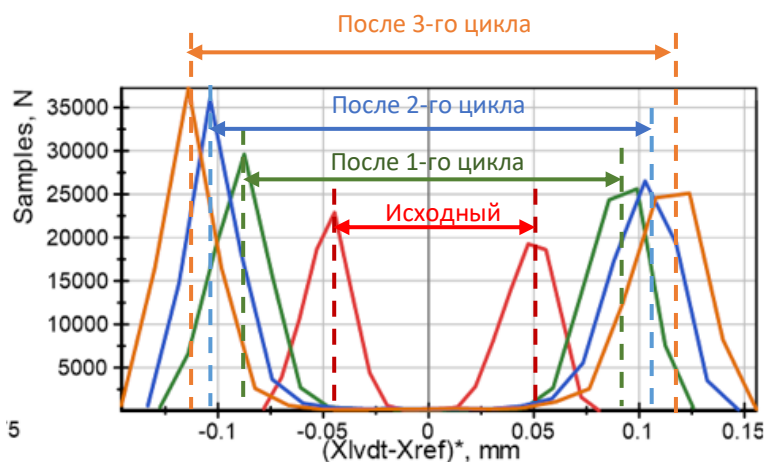


Рис. 4. Рост люфта ЭМРП в процессе стендовых испытаний под нагрузкой

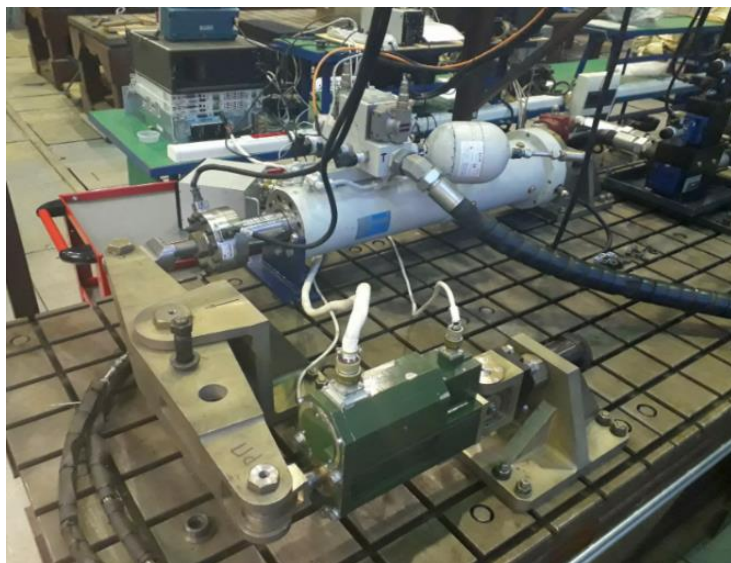


Рис. 5. Стенд испытания рулевых приводов

Методы диагностики состояния самолетных систем и, в частности силовых приводов, постоянно совершенствуются, рисунок 6. Контроль пороговых значений параметров работы системы так же, как сравнение значений текущих параметров с их расчетными значениями (эталонной моделью), уже давно используются для контроля работоспособности системы. Данные методы фиксируют выявленные отклонения параметров работы системы. То есть речь идет о констатации факта отказа системы или ее деградации выше определенного уровня. Современные подходы направлены на выявление предпосылок к отказу [23-24]. Контроль времени активной работы (наработки) системы дает возможность прогнозировать ее отказы, опираясь на результаты длительных испытаний или опыт эксплуатации самолетов-лидеров. Еще более совершенным подходом к мониторингу состояния конкретной системы является сопоставление ее характеристик с базой экспериментальных данных, в которой собраны характеристики функционирования полных аналогов рассматриваемой системы с разными сроками наработки и разными выявленными отказами.

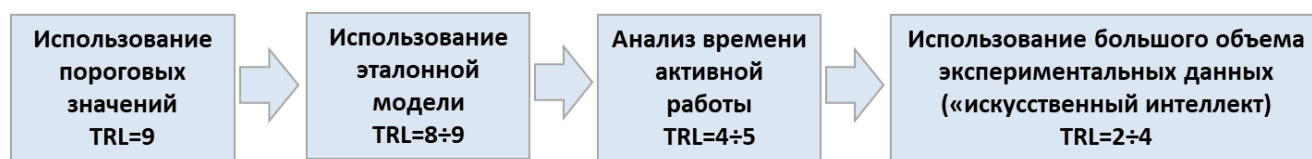


Рис. 6. Эволюция методов мониторинга технического состояния бортовых систем

Для успешного применения такого подхода к оценке технического состояния рулевого привода требуется сформировать базу прецедентов, наиболее полно отражающую взаимосвязи между параметрами работы и оценкой состояния ЭМРП.

Если сбор информации о штатных режимах работы привода не вызывает затруднений, то достаточно сложной задачей является получение данных о редко встречающихся состояниях ЭМРП, например, связанных с нарастающими деградациями его элементов, нештатными и аварийными ситуациями и т.д. Предлагается формировать базу прецедентов на основе эмпирических данных и результатов моделирования рулевого привода на стенде.

Изложенная выше методология мониторинга характеристик электромеханического рулевого привода может быть отработана на экспериментальной установке – демонстраторе системы мониторинга. Ниже приводятся основные требования к такому демонстратору, которые дают представление о его облике, рисунок 7.

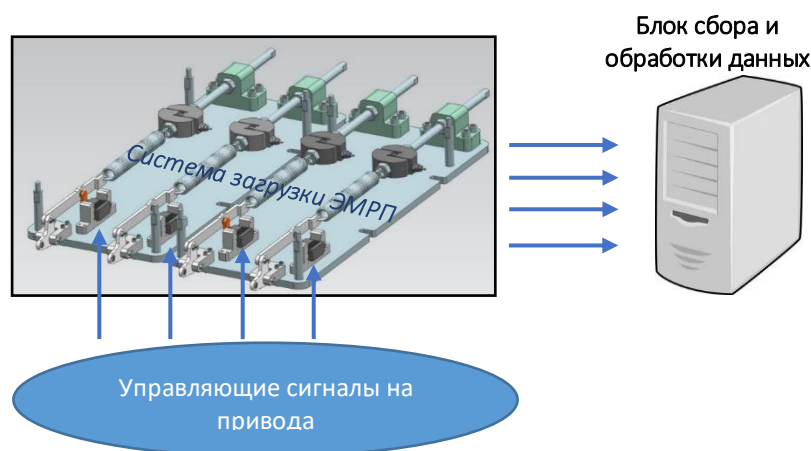


Рис. 7. Схема стенда для отработки системы мониторинга состояния ЭМРП

Установка монтируется на монтажной плате в стендовом зале и включает в себя следующие элементы:

- Силовое основание для монтажа привода и измерительной системы;
- Систему нагружения;

- Электронный блок управления;
- Исследуемые электромеханические приводы;
- Систему измерения и регистрации и др.

В демонстраторе системы мониторинга состояния ЭМРП могут быть использованы существующие маломощные серийно выпускаемые приводы, что не ограничивает общности получаемых результатов в части методики мониторинга.

Для формирования управляющих сигналов может быть использован универсальный вычислитель с моделью динамики самолета и имитаторами рычагов управления.

Идентификации технического состояния и прогнозирование неисправностей привода осуществляется в соответствии со схемой анализа данных, в которой применяются следующие методы:

- интеллектуальный анализ данных, обеспечивающий возможность накопления опыта, формируемого в процессе эксплуатации/испытаний ЭМРП;
- прогнозирование и выявление тенденций изменения контролируемых параметров;
- предобработка данных (поиск связей в данных, восстановление отсутствующих значений, выявление некорректных значений, выделение информативных признаков).

Демонстратор системы мониторинга полетной ситуации

Посадка является наиболее сложным и ответственным этапом полета. Поэтому повышению уровня информационной поддержки экипажа уделяется первостепенное внимание. Бортовая система ситуационной осведомленности экипажа на посадке (ССО) решает исключительно задачи обеспечения безопасности полета. Концептуально система ситуационной осведомленности, в отличие от автоматических систем управления, является информационной системой, которая на основании анализа потоков разнородной информации о полете (параметры полета, вес самолета, конфигурация закрылков, предустановленный режим торможения, метеоусловия, состояние ВПП и др.) оценивает риск авиационного происшествия на посадке и формирует соответствующие рекомендации для экипажа, рисунок 8. ССО непосредственно не вмешивается в управление воздушным судном.



Рис. 8. Система ситуационной осведомленности экипажа на посадке

Структурная схема бортовой системы ситуационной осведомленности приведена на рисунке 9.

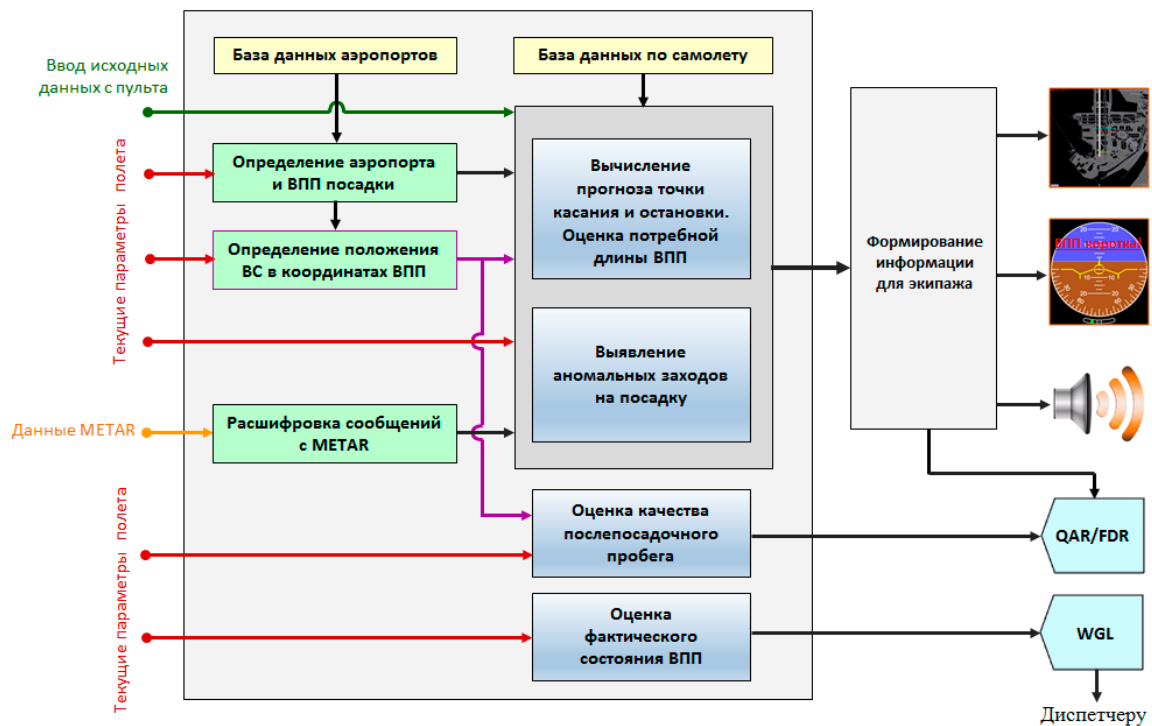


Рис. 9. Структурная схема системы ситуационной осведомленности экипажа

В основе оценки текущей полетной ситуации лежат те же самые подходы и алгоритмы предиктивной диагностики («интеллектуальные» методы анализа данных), которые используются для мониторинга состояния электромеханического рулевого привода и для мониторинга состояния конструкции планера.

Внедрение бортовой системы ситуационной осведомленности должно существенно повысить безопасность полетов за счет уменьшения риска грубой посадки и выкатывания самолета с ВПП. ССО выполняет следующие основные функции:

- контроль потребной и располагаемой посадочной дистанции;
- оценка риска выкатывания самолета за боковую кромку ВПП;
- выявление аномалий в текущем режиме полета;
- контроль условий стабилизированного захода на посадку;

- оценка фактического состояния ВПП в процессе пробега.

Наземный стенд-демонстратор бортовой ССО (рисунок 10) включает в себя:

- вычислитель повышенной производительности с моделью динамики самолета;
- имитаторы основных рычагов управления самолета;
- настраиваемую систему приборной индикации;
- систему отображения внекабинного пространства;
- аудиосистему.



Рис. 10. Стенд-демонстратор бортовой системы ситуационной осведомленности экипажа.

Принципиальным отличием предлагаемого стенда от существующих симуляторов является возможность оперативной настройки данной экспериментальной установки под текущие задачи и его мобильность, что позволяет объединять ее, например, со стендом бортовой системы мониторинга состояния

конструкции или стендом обработки методики мониторинга состояния силовых приводов. Таким образом, предлагаемая экспериментальная установка может использоваться как составная часть в разных демонстраторах комплексной системы управления безопасностью полетов, рисунок 11.

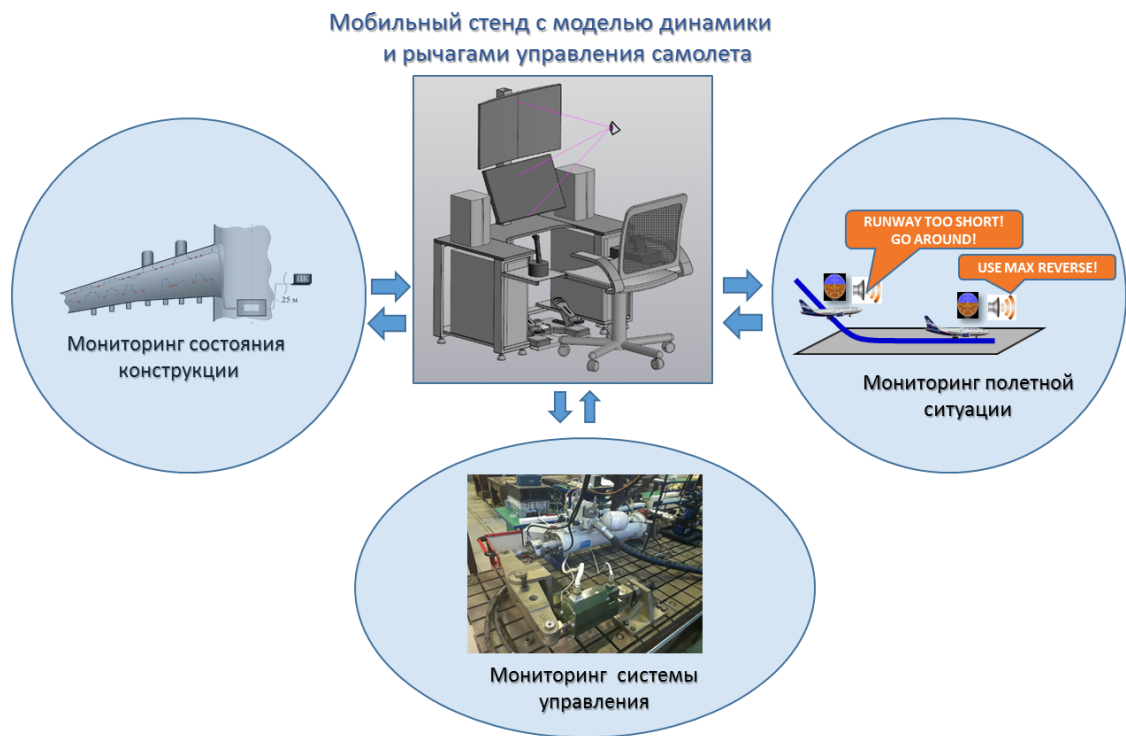


Рис. 11. Демонстраторы комплексной системы управления безопасностью полетов

Заключение

Рассмотрены некоторые перспективные направления, проводимые в ЦАГИ, в том числе с участием авторов, исследований в интересах построения комплексной системы управления безопасностью полетов, касающиеся контроля состояния конструкции планера, оценки уровня деградации рулевых приводов, а также мониторинга полетной ситуации. Все упомянутые направления исследований носят

прикладной характер, выполняются на элементах конструкций разрабатываемых отечественных самолетов и базируются на реальных полетных данных.

Сформированы предложения по разработке демонстраторов технологий различного уровня готовности, реализующих рассмотренные в работе функции комплексной системы управления безопасностью полётов.

Поскольку речь идет о бортовых системах, то на определенном этапе встает вопрос об их отработке совместно с моделью динамики самолета. Поэтому вспомогательный мобильный стенд с моделью динамики самолета и имитаторами рычагов управления, функционал которого наращивается за счет подключения дополнительного оборудования и блоков программного обеспечения, может стать составной частью в разных демонстраторах комплексной СУБП.

Список источников

1. Бордунов В.Д., Елисеев Б.П. Стратегия правовой политики применения Приложения 19 «Управление безопасностью полетов» // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 216. С. 5-10.
2. Сыпало К.И., Медведский А.Л., Бабичев О.В., Казаринов Г.Г., Кан А.В. Создание демонстратора технологий авиастроения // Труды МАИ. 2017. № 95. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=84545>
3. Что такое БСТО? Зачем она нужна на самолете SSJ-100? URL: <https://dzen.ru/a/YAFnr5W7pAodgDxs>
4. Орлова Т.И., Стрелков В.В., Цымбалюк В.И. Мониторинг нагрузок и накопленной усталостной повреждаемости в условиях эксплуатации: реализация,

результаты и возможности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1 (5). С. 1512-1520.

5. Kleptsov V.I., Tsimbalyuk V.I., Orlova T.I. Flight loads and cumulative fatigue damages monitoring for each aircraft during service life // Proceedings of International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics (IFASD-2015-008), 2015, Saint Petersburg, pp. 452-463.

6. Цымбалюк В.И., Орлова Т.И., Фролов А.В. Способ мониторинга нагрузок и накопленной усталостной повреждаемости в условиях эксплуатации. Патент № 2599108, 09.09.2016.

7. Шаров В.Д. Методика оценки вероятности выкатывания воздушных судов за пределы ВПП при посадке // Научный вестник МГТУ ГА. 2007. № 122 (12). С. 61-66.

8. Бородкин С.Ф., Волынчук А.И., Ганцев Ш.Ф., Киселев М.А., Носатенко И.А. Современные методы предотвращения выкатываний воздушных судов за пределы взлетно-посадочной полосы // Научный вестник МГТУ ГА. 2022. Т. 25. № 2. С. 8-19.

DOI: [10.26467/2079-0619-2022-25-2-8-19](https://doi.org/10.26467/2079-0619-2022-25-2-8-19)

9. Семаков С.Л. Об одном подходе к вероятностной оценке безопасности посадки гражданского самолета // Труды МАИ. 2019. № 104. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=102188>

10. Еремин А.И., Сельвесюк Н.И. Уточнённая оценка коэффициента опасности посадки при снижении по глиссаде с учётом действия вертикального ветра. // Труды МАИ, выпуск 100, 2018. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=93451>

11. Рыбин А.В. Разработка методики детектирования и анализа грубых посадок самолёта на основе численного моделирования происшествия. // Труды МАИ, выпуск 81, 2015. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=57761>
12. Бутырин О.А., Стрелков В.В., Хайруллин Н.Г. Применение методов статистического анализа для решения задачи оценки влияния различных факторов на риск выкатывания самолета со взлетно-посадочной полосы при посадке // Труды МФТИ. 2019. Т. 11. № 3. С. 133-145.
13. Ганяк О.И., Стрелков В.В. Исследования в интересах разработки перспективных бортовых систем интеллектуальной поддержки экипажа на посадке // Труды первой научно-практической конференции «Технологическое развитие авиастроения: глобальные тенденции и национальные интересы России» (Москва, 25 февраля 2021). – М.: НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского», 2021. – С. 150-159.
14. Runway Overrun Prevention System (ROPS). URL: <https://skybrary.aero/articles/runway-overrun-prevention-system-rops>
15. Safety Innovation #5: Runway Overrun Prevention System (ROPS) and Runway Safety Suite. URL: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-10-safety-innovation-5-runway-overrun-prevention-system-rops-and-runway>
16. Jacob A., Lignee R., Villaume F. The Runway Overrun Prevention System. Safety first magazine, 2009. URL: <https://www.flightsafetyaustralia.com/tag/runway-overrun-prevention-system>
17. Jenkins M., Aaron R.F. Reducing Runway Landing Overruns. URL: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012_q3/3/

18. SmartRunway and SmartLanding. URL:
<https://www.synerjet.com/honeywellspa.html>.
19. Easy Access Rules for Large Aeroplanes (CS-25, Amendment 27). EASA, 2022.
URL: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-large-aeroplanes-cs-25>
20. Европейский региональный план обеспечения безопасности полетов 2022-2024. ИКАО, EASA (по состоянию на 15 декабря 2021 года), 161 с. URL:
<https://avam-avia.ru/novosti/evropejskij-plan-obespecheniya-aviacionnoj-bezopasnosti-na-2021-2025/?ysclid=lns2jqyqny582464009>
21. Ерофеев Е.В., Кувшинов В.М., Скрыбин А.В., Стеблинкин А.И., Халецкий Л.В. Построение силовой системы управления самолетов с использованием рулевых приводов с электрическим силовым питанием для реализации концепции «более электрического самолета» // Труды ЦАГИ. 2019. № 2785. С. 49-70.
22. Баутин А.А., Дубинский С.В., Скрыбин А.В., Стрелков В.В. Формирование предложений по разработке демонстраторов технологий в рамках комплексной системы управления безопасностью полетов // Труды научно-практической конференции «Технологическое развитие авиастроения: глобальные тенденции и национальные интересы России» (Москва, 10 ноября 2022). – М.: НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского», 2023. С. 192-210.
23. Эзрохи Ю.А., Каленский С.М. Применение методов математического моделирования для определения в полете степени ухудшения характеристик узлов газотурбинного двигателя // Труды МАИ. 2022. № 123. URL:
<https://trudymai.ru/published.php?ID=165500>. DOI: [10.34759/trd-2022-123-23](https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-23)

24. Копейка Е.А., Вербин А.В. Методический подход оценивания вероятности безотказной работы сложных технических систем с учетом характеристик системы контроля на основе байесовской сети доверия // Труды МАИ. 2023. № 128. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=171411>. DOI: [10.34759/trd-2023-128-22](https://doi.org/10.34759/trd-2023-128-22)

References

1. Bordunov V.D., Eliseev B.P. *Nauchnyi vestnik MGTU GA*, 2015, no. 216, pp. 5-10.
2. Sypalo K.I., Medvedskii A.L., Babichev O.V., Kazarinov G.G., Kan A.V. *Trudy MAI*, 2017, no. 95. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=84545>
3. *Chto takoe BSTO? Zachem ona nuzhna na samolete SSJ-100?* URL: <https://dzen.ru/a/YAFnr5W7pAodgDxs>
4. Orlova T.I., Strelkov V.V., Tsymbalyuk V.I. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 1 (5), pp. 1512-1520.
5. Kleptsov V.I., Tsymbalyuk V.I., Orlova T.I. Flight loads and cumulative fatigue damages monitoring for each aircraft during service life, *Proceedings of International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics (IFASD-2015-008)*, 2015, Saint Petersburg, pp. 452-463.
6. Tsymbalyuk V.I., Orlova T.I., Frolov A.V. *Patent № 2599108*, 09.09.2016.
7. Sharov V.D. *Nauchnyi vestnik MGTU GA*, 2007, no. 122 (12), pp. 61-66.
8. Borodkin S.F., Volynchuk A.I., Gantsev Sh.F., Kiselev M.A., Nosatenko I.A. *Nauchnyi vestnik MGTU GA*, 2022, vol. 25, no. 2, pp. 8-19. DOI: [10.26467/2079-0619-2022-25-2-8-19](https://doi.org/10.26467/2079-0619-2022-25-2-8-19)

9. Semakov S.L. *Trudy MAI*, 2019, no. 104. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=102188>
10. Eremin A.I., Sel'vesyuk N.I. *Trudy MAI*, 2018, no. 100. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=93451>
11. Rybin A.V. *Trudy MAI*, 2015, no. 81. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=57761>
12. Butyrin O.A., Strelkov V.V., Khairullin N.G. *Trudy MFTI*, 2019, vol. 11, no/ 3, pp. 133-145.
13. Ganyak O.I., Strelkov V.V. *Trudy pervoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Tekhnologicheskoe razvitie aviastroeniya: global'nye tendentsii i natsional'nye interesy Rossii»*, Moscow, NITs «Institut im. N.E. Zhukovskogo", 2021, pp. 150-159.
14. *Runway Overrun Prevention System (ROPS)*. URL: <https://skybrary.aero/articles/runway-overrun-prevention-system-rops>
15. *Safety Innovation #5: Runway Overrun Prevention System (ROPS) and Runway Safety Suite*. URL: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-10-safety-innovation-5-runway-overrun-prevention-system-rops-and-runway>
16. Jacob A., Lignee R., Villaume F. *The Runway Overrun Prevention System. Safety first magazine*, 2009. URL: <https://www.flightsafetyaustralia.com/tag/runway-overrun-prevention-system>
17. Jenkins M., Aaron R.F. *Reducing Runway Landing Overruns*. URL: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012_q3/3/
18. *SmartRunway and SmartLanding*. URL: <https://www.synerjet.com/honeywellspa.html>

19. *Easy Access Rules for Large Aeroplanes (CS-25, Amendment 27)*. EASA, 2022. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-large-aeroplanes-cs-25>
20. *Evropeiskii regional'nyi plan obespecheniya bezopasnosti poletov 2022-2024*. ICAO, EASA (po sostoyaniyu na 15 dekabrya 2021 goda), 161 p. URL: <https://avam-avia.ru/novosti/evropejskij-plan-obespecheniya-aviaczionnoj-bezopasnosti-na-2021-2025/?ysclid=lns2jqyqny582464009>
21. Erofeev E.V., Kuvshinov V.M., Skryabin A.V., Steblinkin A.I., Khaletskii L.V. *Trudy TsAGI*, 2019, no. 2785, pp. 49-70.
22. Bautin A.A., Dubinskii S.V., Skryabin A.V., Strelkov V.V. *Trudy nauchno-prakticheskoi konferentsii «Tekhnologicheskoe razvitie aviastroeniya: global'nye tendentsii i natsional'nye interesy Rossii»*, Moscow, NITs «Institut im. N.E. Zhukovskogo», 2023, pp. 192-210.
23. Ezrokhi Yu.A., Kalenskii S.M. *Trudy MAI*, 2022, no. 123. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=165500>. DOI: [10.34759/trd-2022-123-23](https://doi.org/10.34759/trd-2022-123-23)
24. Kopeika E.A., Verbin A.V. *Trudy MAI*, 2023, no. 128. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=171411>. DOI: [10.34759/trd-2023-128-22](https://doi.org/10.34759/trd-2023-128-22)

Статья поступила в редакцию 28.09.2023

Одобрена после рецензирования 05.10.2023

Принята к публикации 25.12.2023

The article was submitted on 28.09.2023; approved after reviewing on 05.10.2023; accepted for publication on 25.12.2023