
**НАДЕЖНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ
МАШИН И КОНСТРУКЦИЙ**

УДК 629.7.017.1

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**© 2019 г. А. А. Ицкович^{1,*}, И. А. Файнбург¹, Г. Д. Файнбург¹¹ *Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА),
г. Москва, Россия***e-mail: aai777@mail.ru*

Поступила в редакцию 18.11.2018 г.

Принята к публикации 25.06.2019 г.

Методологические аспекты управления процессами обеспечения надежности сложных машин рассматриваются применительно к авиационной технике и включают: актуальность проблемы и основные задачи, характеристику процессов обеспечения надежности авиационной техники как объектов управления, формирование системы управления процессами обеспечения надежности авиационной техники, анализ статистических методов контроля надежности и вероятностно-статистических характеристик редящих потоков случайных событий — отказов: выявленных в полете, приведших к наземным сбоям эксплуатации, к заменам воздушного судна и суммарного количества отказов и повреждений, выявленных в полете и на земле. Результаты исследований направлены на повышение надежности, безопасности полетов и эффективности эксплуатации авиационной техники.

Ключевые слова: надежность, процессный подход, стандартизованные термины обеспечение надежности, процессы обеспечения надежности, управляемый процесс, система управления процессами, анализ статистических методов контроля надежности и вероятностно-статистических характеристик редящих потоков случайных событий

DOI: 10.1134/S0235711919050031

1. Актуальность проблемы и основные задачи. Обеспечение надежности авиационной техники гражданской авиации (АТ ГА) является приоритетной проблемой, от ее успешного решения зависят безопасность полетов и эффективность эксплуатации АТ ГА.

В опубликованных работах рассматриваются различные аспекты проблемы обеспечения надежности (ОН) машин: актуальность проблемы ОН [1], ОН на основе современных стандартов [2, 3], контроль и мониторинг надежности АТ [4, 5], надежность и ремонтпригодность оборудования [6], программы обеспечения надежности и технического обслуживания с учетом обеспечения безопасности полетов [7].

Особое место занимают работы, в которых на основе комплексного подхода надежность рассматривается в составе других свойств машин, отражающих их качество: эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов (ВС) (отказобезопасность, надежность, эксплуатационная технологичность, эффективность стоимости жизненного цикла) [8], эффективности процессов технической эксплуатации (ТЭ) и поддержания летной годности (ПЛГ) ВС (безопасность и регулярность полетов ВС, безотказность АТ, интенсивность использования ВС, экономичность процессов ТЭ и ПЛГ ВС [9]; в государственных стандартах ГОСТ Р 56079-2014, ГОСТ Р 56080-2014 и ГОСТ Р 56081-2014 (безопасность полета, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность).

Однако, в опубликованных работах отсутствует рассмотрение актуальной проблемы управления процессами ОН машин и анализа вероятностно-статистических характеристик редящих потоков отказов на основе процессного подхода. Настоящая статья посвящена методологическим аспектам этой проблемы, включающим решение основных задач: классификацию стандартизированных терминов ОН машин [6], характеристику процессов ОН АТ как объектов управления, формирование системы управления процессами ОН АТ, анализ статистических методов контроля надежности и вероятностно-статистических характеристик редящих потоков случайных событий – отказов: выявленных в полете, приведших к наземным сбоям эксплуатации, к заменам ВС и суммарного количества отказов и повреждений, выявленных в полете и на земле.

2. Характеристика процессов ОН АТ как объектов управления. Учитывая основополагающую роль терминологии в области надежности машин, выполнена классификация стандартизированных терминов ОН по ГОСТ 27.002-2015 и ГОСТ Р 27.001-2009, в которой приняты следующие процессы: резервирование; техническое обслуживание, восстановление, ремонт; разработка, обеспечение и анализ; испытания на надежность и управление надежностью (табл. 1). Полу жирным шрифтом в табл. 1 выделены процессы ОН АТ, приведенные в ГОСТ 27.002-2015 и ГОСТ Р 27.001-2009.

С учетом терминов и определений, установленных ГОСТ 27.002-2015, ГОСТ Р 27.001-2009 и ГОСТ Р ИСО 9000-2015, на основе процессного подхода [2, 6], дополнительно сформулированы понятия по управлению процессами ОН АТ ГА.

Процесс ОН АТ: совокупность последовательных действий, ориентированных на достижение, поддержание и подтверждение требуемого уровня надежности АТ.

Управление процессами ОН АТ: совокупность координируемых действий, являющихся частью общего управления предприятием в целях выполнения требований к надежности АТ.

Программа управления процессами ОН АТ: документ, устанавливающий комплекс взаимосвязанных организационных и технических мероприятий, методов, средств, требований и норм, направленных на выполнение установленных в документации на АТ требований к надежности.

Процессный подход в ОН АТ включает в себя систематическое определение процессов и управление процессами ОН с их взаимодействием таким образом, чтобы достигать намеченных результатов в соответствии с программой управления процессами ОН АТ.

Надежность закладывается при проектировании, обеспечивается при производстве и поддерживается при эксплуатации. Поэтому процессы ОН АТ на разных стадиях жизненного цикла АТ будем рассматривать в рамках исследования, проектирования, производства и эксплуатации АТ, а нормирование надежности АТ производить с учетом требований норм летной годности ВС и эффективности эксплуатации ВС.

Управляемым процессом ОН АТ называется любая деятельность по ОН АТ, использующая ресурсы и управляемая для обеспечения способности превращать входящие (Вход) элементы в выходящие (Выход) (рис. 1).

Внешний контур (контур программного управления) K_1 “настроен” на выполнение требований процесса эксплуатации АТ ГА по обеспечению надежности АТ, в соответствии с которыми на основе априорной информации о конструктивно-эксплуатационных свойствах АТ и ожидаемых условиях эксплуатации формируется программа управления процессами ОН АТ ГА.

Механизм управления процессами ОН АТ включает два контура (рис. 2).

По мере накопления апостериорной информации о техническом состоянии АТ в авиапредприятиях ГА в реальных условиях эксплуатации производится корректировка программы управления процессами ОН АТ.

Таблица 1. Классификация стандартизированных терминов обеспечения надежности

| Признаки | Термины обеспечения надежности |
|--|--|
| | По ГОСТ 27.002-2015 |
| 1. Резервирование | Резервирование: нагруженное, облегченное, ненагруженное, постоянное, замещением, общее, раздельное, смешанное, без восстановления, с восстановлением, мажоритарное. Резерв: основной элемент, резервный элемент, кратность резерва, нагруженный резерв, облегченный резерв, ненагруженный резерв |
| 2. Техническое обслуживание, восстановление и ремонт | Система технического обслуживания и ремонта. Техническое обслуживание. Восстановление. Самовосстановление. Ремонт. Мониторинг технического состояния. Замена. Запасная часть. Запасные части, инструменты и принадлежности: ЗИП. Комплект ЗИП. Система ЗИП |
| 3. Разработка, обеспечение, анализ | Нормируемый показатель надежности. Нормирование надежности. Распределение требований. Структурная схема надежности. Программа обеспечения надежности. Оценка надежности. Прогнозирование надежности. Контроль надежности. Расчетный метод определения надежности. Расчетно-экспериментальный метод определения надежности. Экспериментальный метод определения надежности. Модель надежности. Анализ отказов. Отбраковочные испытания |
| 4. Испытания на надежность | Испытания на надежность: определительные испытания на надежность, контрольные испытания на надежность, лабораторные испытания на надежность, эксплуатационные испытания на надежность, нормальные испытания, ускоренные испытания. Коэффициент ускорения испытаний. План испытаний на надежность |
| | По ГОСТ Р 27.001-2009 |
| 5. Управление надежностью | Предприятие. Система управления надежностью. Объект системы управления надежностью. Элемент системы управления надежностью. Управление надежностью. Обеспечение надежности. Программа обеспечения надежности |

Внутренний контур (контур оперативного управления) K_2 “настроен” на реализацию программы управления процессами ОН АТ ГА с учетом требований процесса эксплуатации АТ конкретного эксплуатационного авиапредприятия, в соответствии с которыми планируются процессы ОН АТ.

3. Формирование системы управления процессами ОН АТ. Система управления процессами ОН АТ: Совокупность всех средств авиапредприятия (разработчика, изготовителя, эксплуатанта АТ) по управлению процессами ОН АТ.

Система управления процессами ОН АТ должна обеспечивать разработку и осуществление мероприятий на всех стадиях жизненного цикла АТ (исследование, проектирование, изготовление, эксплуатация).

Система управления процессами ОН АТ включает: подсистему линейного руководства; целевые подсистемы; функциональные подсистемы; подсистему обеспечения управления (табл. 2).

Подсистема линейного руководства осуществляет управление процессами ОН АТ линейными руководителями подразделений авиационных отраслей (отраслевом, региональном, авиапредприятия), специальными органами целевого управления, функциональными подразделениями.

Целевая подсистема в соответствии с основными целями деятельности подразделений по управления процессами ОН АТ включает: управление процессами ОН в целом (многоцелевая подсистема), управление процессами обеспечения: безотказности АТ,



Рис. 1. Управляемый процесс ОН АТ ГА.

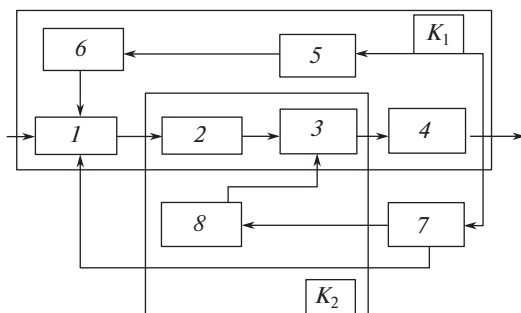


Рис. 2. Схема управления процессами ОН АТ: K_1 – внешний контур (программное управление); K_2 – внутренний контур (оперативное управление); 1 – анализ надежности АТ; 2 – программа управления процессами ОН АТ; 3 – процессы ОН АТ; 4 – оценка надежности АТ; 5 – процессы эксплуатации АТ; 6 – нормирование надежности АТ; 7 – контроль надежности АТ; 8 – оперативное управление процессами ОН АТ.

долговечности АТ, ремонтпригодности АТ, сохраняемости АТ, восстанавливаемости АТ и готовности АТ. Взаимосвязь специальных функций с целевыми подсистемами показана в табл. 3. Для повышения *целенаправленности* управления процессами обеспечения надежности используется целевой подход к управлению, в соответствии с которым определяются главная цель управления и ее последующая дифференциация в виде иерархической системы целей (в том числе, по производственным единицам и подразделениям), условия, обеспечивающие достижение целей и организация деятельности трудового коллектива.

Целью системы управления процессами ОН АТ является достижение, подтверждение и поддержание требуемого уровня надежности АТ, установленного в документации на АТ, при минимальных затратах времени, труда и средств на комплекс взаимосвязанных организационных и технических мероприятий, методов и средств ОН АТ.

Таблица 2. Структура системы управления процессами обеспечения (ПО) надежности АТ

| Система управления процессами ОН АТ | | | | | |
|---|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|
| 1. Подсистемы линейного руководства | | | | | |
| 2. Целевые подсистемы | 3. Функциональные подсистемы | | | | 4. Подсистема обеспечения |
| | 3.1. Планирование | 3.2. Оперативное управление | 3.3. Оценка и стимулирование | 3.4. Учет и отчетность | |
| 2.0. Многоцелевые специальные функции | 2.0-3.1-1 | 2.0-3.2-1 | 2.0-3.3-1 | 2.0-3.4-1 | 4.1. Нормативно-правовое |
| | 2.0-3.1-2 | 2.0-3.2-2 | 2.0-3.3-2 | 2.0-3.4-2 | |
| | 2.0-3.1-3 | 2.0-3.2-3 | | | |
| 2.1. Управление ПО безотказности АТ | 2.1-3.1-1 | 2.1-3.2-1 | 2.1-3.3-1 | 2.1-3.4-1 | 4.2. Информационное |
| 2.2. Управление ПО долговечности АТ | 2.2-3.1-1 | 2.2-3.2-1 | 2.2-3.3-1 | 2.2-3.4-1 | 4.3. Метрологическое |
| 2.3. Управление ПО ремонтпригодности АТ | 2.3-3.1-1 | 2.3-3.2-1 | 2.3-3.3-1 | 2.3-3.4-1 | 4.4. Материально-техническое |
| 2.4. Управление ПО сохраняемости АТ | 2.4-3.1-1 | 2.4-3.2-1 | 2.4-3.3-1 | 2.4-3.4-1 | 4.5. Научно-методическое |
| 2.5. Управление ПО восстанавливаемости АТ | 2.5-3.1-1 | 2.5-3.2-1 | 2.5-3.3-1 | 2.5-3.4-1 | |
| 2.6. Управление ПО готовности АТ | 2.6-3.1-1 | 2.6-3.2-1 | 2.6-3.3-1 | 2.6-3.4-1 | |
| | | | | | |

Степень достижения цели системы управления процессами ОН АТ характеризуется частными и комплексными показателями надежности (ГОСТ 27.002-2015).

Функциональная подсистема характеризуется специализацией управленческой деятельности, целями управления, составом специальных функций управления, составом задач управления по каждой специальной функции и их распределения по органам управления. В состав функциональных подсистем входят: перспективное и текущее планирование процессов ОН АТ; оперативное управление процессами ОН АТ; оценка и стимулирование повышения эффективности процессов ОН АТ; учет и отчетность по процессам ОН АТ.

Шифр специальной функции (табл. 2, 3) состоит из трех цифр $X_1 - X_2 - X_3$, где X_1 – номер целевой подсистемы, X_2 – номер функциональной подсистемы, X_3 – номер специальной функции в функциональной подсистеме.

Цель управления в функциональной подсистеме устанавливается в соответствии с основными целями управления процессами ОН АТ и составом специальных функций.

Функциональная подсистема включает подразделения всех уровней управления, участвующих в выполнении специальных функций. По каждой специальной функции назначается головное подразделение и устанавливается одно или несколько подразделений, участвующих в выполнении специальных функций: управление, отдел, бюро, группа, специалист.

4. Анализ методов контроля надежности и вероятностно-статистических характеристик редящих потоков случайных событий. В настоящее время применяются различные статистические методы контроля надежности компонентов ВС в процессе экс-

Таблица 3. Перечень специальных функций управления процессами обеспечения надежности АТ

| Шифр специальной функции | Функциональная подсистема и специальные функции | Целевые подсистемы, реализующие специальные функции |
|---|---|---|
| 1. Перспективное и текущее планирование процессов обеспечения надежности АТ | | |
| 2.0-3.1-1 | Анализ надежности АТ | Все целевые подсистемы |
| 2.0-3.1-2 | Прогнозирование показателей надежности АТ | То же |
| 2.0-3.1-2 | Разработка плана повышения надежности АТ | » |
| 2.1-3.1-1 | Планирование повышения безотказности АТ | Управление безотказностью АТ |
| 2.2-3.1-1 | Планирование долговечности АТ | Управление долговечностью АТ |
| 2.3-3.1-1 | Планирование повышения ремонтпригодности АТ | Управление ремонтпригодностью АТ |
| 2.4-3.1-1 | Планирование повышения сохраняемости АТ | Управление сохраняемостью АТ |
| 2.5-3.1-1 | Планирование повышения восстанавливаемости АТ | Управление восстанавливаемостью АТ |
| 2.6-3.1-1 | Планирование повышения готовности АТ | Управление готовностью АТ |
| 2. Оперативное управление процессами обеспечения надежности АТ | | |
| 2.0-3.2-1 | Контроль надежности АТ | Все целевые подсистемы |
| 2.0-3.2-2 | Анализ причин снижения уровня надежности АТ | То же |
| 2.0-3.2-3 | Формирование управляющих воздействий по повышению надежности АТ | Все целевые подсистемы |
| 2.1-3.2-1 | Оперативное управление безотказностью АТ | Управление безотказностью АТ |
| 2.2-3.2-1 | Оперативное управление долговечностью АТ | Управление долговечностью АТ |
| 2.3-3.2-1 | Оперативное управление ремонтпригодностью АТ | Управление ремонтпригодностью АТ |
| 2.4-3.2-1 | Оперативное управление сохраняемостью АТ | Управление сохраняемостью АТ |
| 2.5-3.2-1 | Оперативное управление восстанавливаемостью АТ | Управление восстанавливаемостью АТ |
| 2.6-3.2-1 | Оперативное управление готовностью АТ | Управление готовностью АТ |
| 3. Оценка и стимулирование повышения надежности АТ | | |
| 2.0-3.3-1 | Оценка уровня надежности АТ и годового экономического эффекта от ее повышения | Все целевые подсистемы |
| 2.0-3.3-2 | Стимулирование повышения надежности АТ | То же |
| 2.1-3.3-1 | Оценка и стимулирование повышения безотказности АТ | Управление безотказностью АТ |
| 2.2-3.3-1 | Оценка и стимулирование повышения долговечности АТ | Управление долговечностью АТ |

Таблица 3. Окончание

| Шифр специальной функции | Функциональная подсистема и специальные функции | Целевые подсистемы, реализующие специальные функции |
|--|---|---|
| 2.3-3.3-1 | Оценка и стимулирование повышения ремонтпригодности АТ | Управление ремонтпригодностью АТ |
| 2.4-3.3-1 | Оценка и стимулирование повышения сохраняемости АТ | Управление сохраняемостью АТ |
| 2.5-3.3-1 | Оценка и стимулирование повышения восстанавливаемости АТ | Управление восстанавливаемостью АТ |
| 2.6-3.3-1 | Оценка и стимулирование повышения готовности АТ | Управление готовностью АТ |
| 4. Учет и отчетность управления процессами обеспечения надежности АТ | | |
| 2.0-3.4-1 | Организация учета при управлении процессами обеспечения надежности АТ | Все целевые подсистемы |
| 2.0-3.4-2 | Организация отчетности о выполнении плана повышения надежности АТ | То же |
| 2.1-3.4-1 | Учет и отчетность по безотказности АТ | Управление безотказностью АТ |
| 2.2-3.4-1 | Учет и отчетность по долговечности АТ | Управление долговечностью АТ |
| 2.3-3.4-1 | Учет и отчетность по ремонтпригодности АТ | Управление ремонтпригодностью АТ |
| 2.4-3.4-1 | Учет и отчетность по сохраняемости АТ | Управление сохраняемостью АТ |
| 2.5-3.4-1 | Учет и отчетность по восстанавливаемости АТ | Управление восстанавливаемостью АТ |
| 26-3.4-1 | Учет и отчетность по готовности АТ | Управление готовностью АТ |

платации (табл. 4). Анализ этих методов позволяет определить их преимущества и недостатки, наметить пути дальнейшего совершенствования.

В соответствии с “Методикой статистического регулирования безотказности”, контроль уровня надежности компонентов ВС осуществляется статистическими методами с использованием для расчета верхней границы регулирования (ВГР) распределения Пуассона (п. 1 табл. 4). При статистическом мониторинге надежности компонентов ВС определяются доверительные границы случайных величин (п. 2 табл. 4) для самолетов Як-40 и Як-42 в Научном центре поддержания летной годности ГосНИИ ГА, при контроле надежности для каждого типа компонента, i -го квартала определяется допустимое количество отказов n_{di} путем решения уравнения. Текущее число отказов в i -м квартале n_i сравнивается с допустимым уровнем n_{di} (п. 3 табл. 4).

При использовании в авиакомпаниях ВС иностранного производства, в соответствии с рекомендациями Международной организацией гражданской авиации ИКАО, применяются Программы обеспечения надежности (Maintenance Reliability Program – MRP) [4], цель которой состоит в том, чтобы контролировать и поддерживать ВС, эксплуатируемые авиакомпанией, в пределах приемлемых уровней летной годности, надежности и экономичности (п. 4 табл. 4).

Однако, эти методы не учитывают взаимосвязь показателей надежности на разных этапах эксплуатации АТ (периодическое ТО, оперативное ТО, полет) и не оценивают эти этапы в качестве защиты от возникающих в процессе эксплуатации отказов.

Система управления процессами ОН АТ должна предусматривать многоуровневую защиту от возникающих в процессе эксплуатации отказов. Обеспечивается такая защита при проведении различных видов технического обслуживания и ремонта (ТОиР),

Таблица 4. Методы статистического контроля показателей надежности АТ

| Наименование задач | Расчетные формулы | Исходные данные |
|---|---|--|
| 1. Определение верхней границы регулирования (ВГР) при распределении Пуассона | $P_{\text{зад}} = \sum_{n=0}^{\text{ВГР}} \frac{(K_{1000}^{\text{пл}} T a / 1000)^n}{n!} e^{-K_{1000}^{\text{пл}} T a / 1000}$ $K_{1000}^{\text{пл}} = \frac{n_{\text{баз}}}{T_{\text{баз}}} \times 1000$ $n_{\text{ож}} = K_{1000}^{\text{пл}} \frac{T a}{1000}$ | $K_{1000}^{\text{пл}}$ – плановое значение количества отказов на 1000 ч наработки; T – налет парка ВС за контрольный период; a – число однотипных изделий на ВС, n – ожидаемое количество отказов за контрольный период. $n_{\text{баз}}$ – количество отказов за базовый (предшествующий период), $T_{\text{баз}}$ – налет парка ВС за базовый период |
| 2. Определение доверительных границ | $\alpha^* = P(Z_{\text{H}} \leq Z_0 \leq Z_{\text{B}})$ $\alpha_1 = P(Z_0 \leq Z_{\text{H}}), \alpha_2 = P(Z_0 \leq Z_{\text{B}}),$ $\alpha^* = \alpha_1 + \alpha_2 - 1, \text{ при } \alpha_1 + \alpha_2 = \alpha$ $\alpha^* = 2\alpha - 1$ | Z – случайная величина; Z_{H} – нижняя и Z_{B} – верхняя границы генеральной характеристики Z_0 . α^* – двухсторонняя доверительная вероятность, α_1 и α_2 – односторонние доверительные вероятности |
| 3. Определение допустимого количества отказов n_{di} | $\chi_{\alpha}^2(2n_{di} + 2) = 2\omega_{\text{H}} T_i$ | $\chi_{\alpha}^2(2n_{di} + 2)$ – квантиль уровня хи-квадрат распределения с $2n_{di} + 2$ степенями свободы; ω_{H} – заданный контрольный уровень надежности, T_i – суммарная наработка в часах совокупности рассматриваемых изделий в $-i$ -м квартале |
| 4. Определение допустимого уровня надежности | $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y^*)^2}{n}}$ $UCL = Y + k\sigma$ или $UCL = Y - k\sigma$ | n – количество месяцев, принятых в расчет, Y_i – показатель за i -й текущий месяц, Y^* – среднее значение месячного показателя за последние n месяцев, σ – стандартное отклонение. k – коэффициент умножения (обычно имеет значение между 2 и 3) |

рассматриваемых в общем виде в качестве барьеров в модели профессора Д. Ризона, качественное описание которой нашло отражение в “Руководстве по управлению безопасностью полетов” (Документ ИКАО Doc 9859) AN/474 Издание третье – 2013. Реализация такой защиты при проведении оперативного и периодического ТО, приводящих к разрежению потока отказов, показана на схеме модифицированной модели Д. Ризона (рис. 3).

Разрежение потоков случайных событий происходит в результате выполнения планируемых и не планируемых видов оперативного и периодического технического обслуживания (ТО), отражающих связь надежности АТ с безопасностью и регулярностью полетов, эффективностью использования АТ.

Для описания потока случайных событий – отказов: выявленных в полете, приведших к наземным сбоям эксплуатации, к заменам ВС и суммарного количества отказов и повреждений, выявленных в полете и на земле, определения их вероятностно-статистических характеристик можно использовать модель редееющих потоков случайных событий [10].

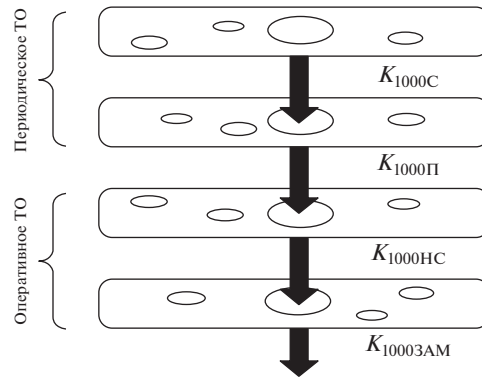


Рис. 3. Модифицированная модель Д. Ризона.

Моделирование редящего потока случайных событий – последовательности событий, возникающих одно за другим в случайные моменты времени и разрежаемых при выполнении работ по ТОиР ВС, отражает количественные характеристики механизма защиты. Для информационного обеспечения системы управления процессами ОН АТ в ГА используется система сбора, обработки и использования информации об отказах, повреждениях АТ, реализующая обратную связь авиапредприятий ГА с организациями и предприятиями авиационной промышленности.

Предельная теорема для суммы нескольких потоков случайных событий утверждает сходимость суммы независимых, ординарных, стационарных потоков к простейшему потоку. При этом суммируемые потоки случайных событий должны удовлетворять условиям: среди них не должно быть потоков с очень большой интенсивностью (по сравнению с суммарной интенсивностью всех остальных); интенсивности суммируемых потоков не должны становиться исчезающе малыми по мере увеличения номера потока.

В стационарном пуассоновском потоке (простейшем потоке) интервал времени между любыми двумя соседними событиями распределен по экспоненциальному закону с параметром λ $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$.

Интенсивность λ_P разреженного потока \bar{I} равна интенсивности исходного потока λ умноженной на вероятность сохранения события в потоке P : $\lambda_P = \lambda P$.

Для оценки вероятностно-статистических характеристик редящих потоков случайных событий используются данные эксплуатационных наблюдений при наработке парка ВС H о количестве отказов: выявленных в полете n_{Π} , приведших к наземным сбоям эксплуатации (задержки, отмены рейсов, возвраты с рулевой дорожки, прерванные взлеты плюс замены ВС) $n_{НС}$, отказов, приведших к заменам ВС (неисправных по техническим причинам, с целью предотвращения возможной задержки или отмены рейса или для сокращения времени задержки) $n_{ЗАМ}$, и суммарном количестве отказов, выявленных в полете и на земле n_C .

Тогда количество отказов на 1000 ч полета оценивается по формулам:

для отказов, выявленных в полете

$$K_{1000\Pi} = n_{\Pi} \times 1000/H, \quad (1)$$

для отказов, приведших к наземным сбоям эксплуатации

$$K_{1000нс} = n_{НС} \times 1000/H, \quad (2)$$

Таблица 5. Показатели надежности парка самолетов RRJ-95В ПАО “Аэрофлот”

| Показатели | Период (мес. год) | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | 12.17 | 01.18 | 02.18 | 03.18 | 04.18 | 05.18 | 06.18 | 07.18 | 08.18 | 09.18 | 10.18 | 11.18 | 12 мес. |
| K_{1000C} | 105.3 | 104.8 | 108.2 | 105.7 | 103.8 | 105.6 | 109.8 | 94.51 | 97.52 | 91.88 | 91.72 | 93.18 | 101.0 |
| $K_{1000П}$ | 41.55 | 52.26 | 47.15 | 43.44 | 44.37 | 46.01 | 51.06 | 40.55 | 36.39 | 34.71 | 38.48 | 38.39 | 42.86 |
| K_{1000HC} | 22.76 | 28.44 | 26.48 | 19.08 | 17.50 | 23.47 | 24.12 | 21.89 | 20.78 | 13.88 | 15.48 | 17.75 | 20.97 |
| $K_{1000ЗАМ}$ | 5.51 | 7.56 | 6.83 | 5.10 | 5.43 | 6.79 | 6.26 | 7.50 | 6.95 | 3.75 | 5.40 | 4.74 | 5.99 |

для отказов, приведших к заменам ВС

$$K_{1000ЗАМ} = n_{ЗАМ} \times 1000/H, \quad (3)$$

для суммарного количества отказов и повреждений, выявленных в полете и на земле

$$K_{1000C} = n_C \times 1000/H. \quad (4)$$

Задача оценки вероятностно-статистических характеристик редющего потока отказов решается поэтапно:

1) определение зависимостей показателей безотказности (1–4): $K_{1000ЗАМ}(K_{1000HC})$, $K_{1000HC}(K_{1000П})$, $K_{1000П}(K_{1000C})$;

2) определение вероятности того, что отказ:

2.1) из суммарного количества отказов перейдет в редющий поток отказов, выявленных в полете

$$P_{СП} = K_{1000П}/K_{1000C}, \quad (5)$$

2.2) из отказов, выявленных в полете, перейдет в редющий поток отказов, приведших к наземным сбоям эксплуатации

$$P_{ПHC} = K_{1000HC}/K_{1000П}, \quad (6)$$

2.3) из отказов, приведших к наземным сбоям эксплуатации, перейдет в редющий поток замен ВС

$$P_{HCЗАМ} = K_{1000ЗАМ}/K_{1000HC}, \quad (7)$$

2.4) из суммарного количества отказов, не перейдет в редющий поток отказов, выявленных в полете

$$q_{СП} = 1 - (K_{1000П}/K_{1000C}), \quad (8)$$

2.5) из отказов, выявленных в полете, не перейдет в редющий поток отказов, приведших к наземным сбоям эксплуатации

$$q_{ПHC} = 1 - (K_{1000HC}/K_{1000П}), \quad (9)$$

2.6) из отказов, приведших к наземным сбоям эксплуатации, не перейдет в редющий поток замен ВС

$$q_{HCЗАМ} = 1 - (K_{1000ЗАМ}/K_{1000HC}). \quad (10)$$

Анализ вероятностно-статистических характеристик предложенной модели редющего потока случайных событий рассмотрим на примере показателей надежности парка самолетов нового поколения, отечественного производства, RRJ-95В ПАО “Аэрофлот” (табл. 5).

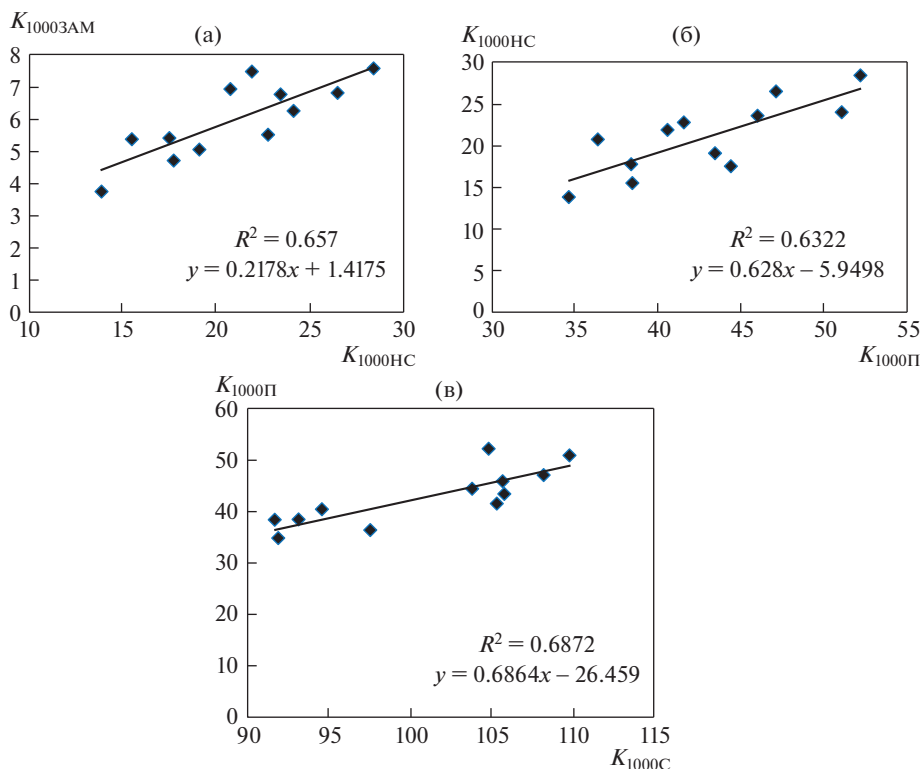


Рис. 4. Зависимости показателей надежности парка самолетов RRJ-95В ПАО “Аэрофлот”: (а) $K_{1000ЗАМ}(K_{1000НС})$, (б) $K_{1000НС}(K_{1000П})$, в) $K_{1000П}(K_{1000С})$.

При определении суммарного количества отказов и отказов, выявленных в полете, в расчет принимались отказы функциональных систем с относительно высокой частотой наземных сбоев эксплуатации (доля наземных сбоев от отказов, выявленных в полете не менее 0.1). Поэтому не учитывались отказы по функциональным системам: пилотажно-навигационное, связанное и приборное оборудование, освещение.

Использование предложенной модели редящих потоков случайных событий позволили по данным табл. 5 получить регрессионные зависимости: а) $K_{1000ЗАМ}(K_{1000НС})$, б) $K_{1000НС}(K_{1000П})$, в) $K_{1000П}(K_{1000С})$ и коэффициенты корреляции, приведенные на рис. 4. Анализ этих зависимостей показывает, что между рассматриваемыми показателями существуют корреляционные взаимосвязи (с коэффициентами корреляции от R^2 от 0.63 до 0.69), что подтверждает корректность построения модели редящих потоков случайных событий.

Наличие корреляции позволяет прогнозировать рост показателей регулярности полетов при сокращении общего количества отказов в результате совершенствования процессов ТОиР ВС.

Выполнена оценка вероятностей сохранения (не сохранения) событий в редящем потоке по формулам (5–7) и (8–10) и данным, приведенным в табл. 5.

Получены следующие значения вероятностей сохранения событий в редеемшем потоке: $P_{СП} = 0.424$; $P_{ПНС} = 0.489$; $P_{НСЗАМ} = 0.285$ и соответственно, значения вероятностей не сохранения событий: $q_{СП} = 0.576$; $q_{ПНС} = 0.511$; $q_{НСЗАМ} = 0.715$, что свидетельствует о значительном разрежении потока отказов и эффективности работ по ТО ВС.

Заключение. Рассмотренные в статье методологические аспекты управления процессами ОН АТ ГА, которые содержат характеристику процессов ОН АТ как объектов управления, структуру системы управления процессами ОН АТ, вероятностно-статистический анализ редееющих потоков случайных событий, предназначены для применения предприятиями и организациями ГА и авиационной промышленности при разработке и внедрении системы управления процессами ОН АТ. Методологические аспекты управления процессами ОН АТ ГА направлены на повышение эффективности процессов эксплуатации и безопасности полетов ВС и могут найти применение для других видов машин.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Д.В.* Актуальность проблемы ОН // Ж. Надежность и качество сложных систем. 2014. № 3. С. 3.
2. *Ицкович А.А., Файнбург И.А., Файнбург Г.Д.* Классификация стандартизованных терминов надежности технических объектов // Сборник статей Международной научно-практической конференции “Технические науки на службе созидания и прогресса”. Уфа: Аэтерна, 2017. С. 109.
3. *Ho M., Hodkiewicz M.* Glossary of Reliability Terms and Definitions for maintenance of inservice assets. 2nd Edition 2013/ University of Western Australia Perth, Australia 6009 & CRC Mining, Australia.
4. *Далецкий С.В., Далецкий Е.С.* Обеспечение функциональных задач контроля надежности АТ в эксплуатации // Ж. Научный вестник МГТУ ГА. 2008. № 127(3). С. 16.
5. *Ицкович А.А., Файнбург И.А., Алексанян А.Р.* Анализ методов контроля надежности компонентов ВС // Ж. Научный вестник МГТУ ГА. 2010. № 160(10). С. 54.
6. *Houshyar A.* Reliability and Maintainability of Machinery and Equipment, Part 1: Accessibility and Assessing Machine Tool R&M / Performance International Journal of Modelling and Simulation, V. 25, 2005, Issue 1. P. 201.
7. *Marusic A., Alfirevic I., Pita O.* Maintenance Reliability Program as Essential Prerequisite of Flight Safety/ Promet – Traffic&Transportation. V. 21, 2009, № 4. P. 269.
8. *Петров А.Н.* Методология поддержания летной годности воздушного судна на основе управления эффективностью системы его технического обслуживания и ремонта // Ж. Научный вестник МГТУ ГА. 2008. № 130. С. 34.
9. *Ицкович А.А., Чернов А.О., Файнбург Г.Д., Файнбург И.А.* Повышение эффективности процессов поддержания летной годности ВС на основе методологии управления проектами // Ж. Научный вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20. № 1. С. 26.
10. *Ицкович А.А., Титов И.В., Файнбург И.А.* Моделирование редееющих потоков событий при формировании программ поддержания летной годности воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2013. № 197(11). С. 68.