

УДК 681.3.019.3

МЕТОД ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ПО КОЛИЧЕСТВЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ БЕЗОТКАЗНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

© 2016 В.П. Махитько, Е.А. Гаврилова

Ульяновский институт гражданской авиации

Статья поступила в редакцию 25.03.2016

Рассматриваются количественные показатели уровня безотказности воздушных судов при их создании и эксплуатации. При этом используется проектная оценка этого показателя на уровне априорного анализа и экспериментальная оценка на уровне апостериорного анализа.

Ключевые слова: *поток отказов, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы*

Повышение эффективности использования по назначению воздушных судов при обеспечении высокой безопасности полетов – главный источник укрепления и роста экономики предприятий гражданской авиации. Для повышения эффективности использования воздушные суда (ВС) совершенствуются, растет насыщения их автоматическими системами управления и регулирования, цифровыми вычислительными устройствами. При этом возрастает сложность функциональных систем (ФС) ВС, число элементов, узлов, блоков, изделий. Каждый из элементов в процессе работы может отказать. И чем больше элементов в ВС, тем больше вероятность того, что в полете хотя бы один из этих элементов откажет.

Появление отказа определенных ФС ВС в полете может быть причиной предпосылки к летному происшествию или самого происшествия. Таким образом, усложнение ВС с целью повышения его эффективности обостряет проблемы обеспечения его безотказности и безопасности полетов. Снижение длительности простоев ВС может быть достигнуто за счет сокращения времени определения работоспособности элементов ФС и поиска места отказа в них. Эта проблема может быть решена путем специальных исследований, разработки и внедрения в эксплуатацию методов оценки безопасности полетов по количественным показателям безотказности функциональных систем воздушных судов.

Безотказность ФС ВС оценивается с помощью специальных показателей, которые позволяют установить его соответствие требованиям летной и технической эксплуатации. Это, в свою очередь, позволяет заказчику предъявлять разработчикам научно обоснованные (оптимальные) требования к техническим характеристикам создаваемого ВС, его ФС. Применение на практике научно обоснованных методов и средств оценки безопасности полетов ВС обеспечивает сокращение времени его простоя, снижение затрат средств и труда на техническое обслуживание. Поэтому очевидна необходимость глубокого изучения и практического применения основ теории безотказности и диагностирования технического состояния ФС ВС эксплуатирующими его специалистами.

Основной задачей теории безотказности является разработка количественных методов оценки создаваемого ВС, его ФС. Применение на практике

научно обоснованных методов и средств оценки безопасности полетов ВС обеспечивает сокращение времени его простоя, снижение затрат средств и труда на техническое обслуживание. Поэтому очевидна необходимость глубокого изучения и практического применения основ теории безотказности и диагностирования технического состояния ФС ВС эксплуатирующими его специалистами.

Основной задачей теории безотказности является разработка количественных методов оценки безотказности и определение наиболее рациональных методов обеспечения требуемого уровня безотказности создаваемых и вводимых в эксплуатацию ВС. Применение количественных методов исследования безотказности обеспечивает:

- научное обоснование требований к вновь создаваемым образцам ВС;
- проектирование оборудования ВС с требуемым уровнем безотказности;
- планирование объемов, сроков и способов отработки ВС для достижения заданного уровня безотказности;
- обоснование путей снижения экономических затрат и сокращения времени на разработку ВС;
- выбор и обоснование наиболее эффективных мероприятий обеспечения характеристик безотказности на этапах проектирования, конструкторской отработки, изготовления и эксплуатации ВС;
- объективную оценку технического состояния находящихся в эксплуатации ВС;
- разработку научно обоснованных рекомендаций, направленных на улучшение авиационной техники и методов ее эксплуатации.

Из-за сложности физических процессов, приводящих к отказу, невозможности учесть все начальные условия, а также случайное воздействие нагрузок в процессе эксплуатации, в настоящее время общепринято считать появление отказа случайным событием в том смысле, что заданная структура авиационного оборудования и условия его эксплуатации не определяют точно моменты и место возникновения отказов. Принятие этой концепции предопределяет математический аппарат, который должен быть использован для определения показателей надежности и построения на их основе теории безотказности. Как известно, количественной характеристикой случайного события является его вероятность, которая приблизительно равна частоте появления события в достаточно длинной последовательности наблюдений при неизменных условиях [2].

Махитько Вячеслав Петрович, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления и экономики на воздушном транспорте. E-mail: mvp-1945@mail.ru
Гаврилова Екатерина Александровна, аспирантка. E-mail: K.gavrilova 1985@mail.ru

Теоретическое исследование безотказности и практические оценки показателей безотказности ВС можно отнести к двум этапам, которые отличаются друг от друга и постановками задач, и исходными данными, и используемыми математическими аппаратами.

Первый этап исследования безотказности называют априорным анализом безотказности. Существуют еще несколько определений этого этапа оценки безотказности: аналитические методы расчета безотказности разрабатываемых ВС, проектная оценка безотказности [2]. Априорный анализ безотказности проводится на стадии проектирования ВС, когда конструкторами намечено несколько конкурирующих структурных схем ВС. Этот анализ предполагает априори полностью известными количественные характеристики безотказности всех используемых конструктивных элементов (КЭ) ВС. В действительности же на стадии проектирования указанными априорными данными конструктор располагает лишь для тех типов КЭВС, которые длительное время находились в эксплуатации. Для новых КЭ ВС нет достоверных количественных характеристик безотказности, их можно задавать по аналогии с показателями безотказности применявшихся КЭ ВС или по интуиции. Таким образом, априорный анализ базируется на априорных (вероятностных) характеристиках безотказности, которые лишь приблизительно и неполно отражают действительные процессы в ВС. Тем не менее для сравнения показателей безотказности нескольких структурных схем ВС использование априорного анализа может быть очень полезным. Этот анализ позволяет выявить на стадии проектирования слабые с точки зрения безотказности места в конструкции и принять необходимые меры к их устранению, а также отвергнуть неудовлетворительные варианты построения ВС. Именно в данном смысле априорный анализ безотказности, не претендуя на выдачу достоверных количественных характеристик, имеет существенное значение в практике проектирования и поэтому составляет неотъемлемую часть технических проектов ВС. Поскольку априорный анализ предполагает вероятностные характеристики безотказности, то для его осуществления используют методы теории вероятности и теории случайных процессов.

Второй этап исследования и оценки показателей безотказности уже разработанных и изготовленных ВС называют апостериорным анализом безотказности (экспериментальная оценка). Его проводят на основании статистической обработки экспериментальных данных о работоспособности и восстанавливаемости функциональных систем (ФС) ВС, полученных в процессе их отладки, испытаний и эксплуатации. Целью испытаний на безотказность и сбора эксплуатационных данных о безотказности является оценка достигнутого уровня безотказности ВС. В данном случае задача апостериорного анализа состоит, прежде всего, в оценке неизвестных параметров по результатам наблюдений и в последующем расчете с помощью этих оценок показателей безотказности.

Проведение испытаний ВС на безотказность ФС проводят для определения фактических показателей безотказности ВС с заданной точностью и достоверностью. При планировании испытаний ВС для каждого определяемого показателя должны быть указаны [1]:

- ожидаемое значение показателя безотказности A_0 ;
- ожидаемое значение коэффициента вариации наработки до отказа V_0 ;

- достоверность (доверительная вероятность q) и точность (относительная ошибка δ) оценки показателя безотказности FC ВС;

- тип плана испытаний (с восстановлением, заменой или без замены, плана определенной продолжительности или до определенного числа отказов FC ВС).

Выбор доверительной вероятности q (двусторонней), а также относительной ошибки δ оценки показателей безотказности FC ВС осуществляют по согласованию с заказчиком согласно требованиям стандартов (общетехнических и отраслевых). Анализ безотказности FC ВС представляет собой количественное исследование информации о неисправностях [3].

Целями анализа являются:

- оценка уровня безотказности FC ВС;
- получение исходных данных для разработки и проведения мероприятий по повышению безотказности FC ВС.

К основным задачам анализа относятся:

- определение количественных показателей безотказности;
- сравнение их с заданными нормативными требованиями;
- исследование изменения количественных показателей по периодам эксплуатации и наработке;
- выявление FC ВС, агрегатов, элементов, имеющих низкий уровень безотказности;
- систематизация исходных данных для исследования причин низкого уровня безотказности FC и разработки мероприятий по его повышению;
- анализ эффективности мероприятий, проводимых с целью повышения безотказности;
- накопление данных для обоснования и уточнения нормируемых показателей безотказности, определения состава запасных частей, корректирования показателей долговечности.

При проведении анализа подлежат определению две группы количественных показателей безотказности;

- среднестатистические показатели (точечные оценки) за соответствующий период эксплуатации;
- количественные характеристики, выражающие непрерывную зависимость параметров безотказности от наработки в определенном временном интервале.

Устанавливается следующая номенклатура среднестатистических показателей безотказности;

- а) для восстанавливаемых FC ВС:
 - наработка на отказ (неисправность) \hat{T} ;
 - параметр потока отказов (неисправностей) $\hat{\omega}$;
 - вероятность безотказной работы \hat{P} ;
- б) для невосстанавливаемых FC ВС:
 - наработка на отказ (на отказ, приведший к досрочному съему) $\hat{T}_{ДС}$;
 - интенсивность отказов $\hat{\lambda}$;
 - вероятность безотказной работы \hat{P} .

При этом размерность показателей зависит от размерности принятого вида наработки FC ВС.

Устанавливается следующая номенклатура основных количественных характеристик безотказности:

- а) для восстанавливаемых FC ВС:
 - параметр потока отказов (неисправностей) $\hat{\omega}$;
 - вероятность безотказной работы \hat{P} ;
- б) для невосстанавливаемых FC ВС:
 - плотность распределения вероятностей наработки до отказа (закон распределения) $f(t)$;
 - интенсивность отказов $\lambda(t)$;
 - вероятность безотказной работы $P(t)$.

Среднестатистические показатели наработки на отказ (неисправность) восстанавливаемых ФС ВС определяются как отношение их наработки за рассматриваемый период к общему количеству отказов (неисправностей). В зависимости от особенностей ФС ВС наработкой может служить налет, количество циклов, срабатываний, включений.

Нарботка на отказ (неисправность) определяется по следующим формулам:

а) для совокупности ВС:

$$\hat{T}_{\Sigma BC} = \frac{t_{\Sigma BC}}{m_{BC}}$$

где $t_{\Sigma BC}$ - суммарный налет совокупности ВС; m_{BC} - суммарное количество отказов (неисправностей), обнаруженных на ВС;

б) для ФС ВС:

$$\hat{T}_{\Phi C} = \frac{t_{\Phi C}}{m_{\Phi C}}$$

где $t_{\Phi C}$ - наработка ФС ВС; $m_{\Phi C}$ - суммарное количество отказов (неисправностей), обнаруженных в ФС ВС;

в) для отдельных агрегатов ВС:

$$\hat{T}_{a2p} = \frac{t_{\Sigma a2p}}{m_{a2p} \cdot N_{a2p}}$$

где $t_{\Sigma a2p}$ - наработка агрегатов данного типа; m_{a2p} - суммарное количество отказов (неисправностей) агрегатов; N_{a2p} - количество агрегатов данного типа в ФС ВС.

Среднестатистические показатели наработки до отказа (на досрочный съем) для невосстанавливаемых ФС ВС определяются по формуле

$$\hat{T}_{д.с} = \frac{t_{\Sigma}}{m_{д.с}} \cdot N$$

где $m_{д.с}$ - количество отказов, приведших к досрочному снятию с эксплуатации ФС ВС данного типа; t_{Σ} - наработка ФС.

Параметр потока отказов (неисправностей) определяется за рассматриваемый период и выражается величиной, обратной наработке на отказ (неисправность). Параметр потока отказов (неисправностей) для совокупности ВС определяется из отношения:

$$\hat{\omega}_{BC} = \frac{1}{\hat{T}_{BC}} = \frac{m_{BC}}{t_{\Sigma BC}}$$

Параметр потока отказов (неисправностей) отдельных агрегатов ВС определяется из отношения:

$$\hat{\omega}_{a2p} = \frac{1}{\hat{T}_{a2p}} = \frac{m_{a2p}}{t_{\Sigma a2p} \cdot N_{a2p}}$$

Интенсивность отказов изделий определяется по формуле

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\hat{T}_{д.с}} = \frac{m_{д.с}}{t_{\Sigma} \cdot N}$$

Среднестатистические значения вероятностей безотказной работы совокупностей ВС, ФС, агрегатов определяются при известных величинах \hat{T} или $\hat{\omega}$ $\hat{T}_{д.с}$ или $\hat{\lambda}$ по формулам:

$$\hat{p} = \exp\left(-\frac{t}{\hat{T}}\right); \quad \hat{p} = \exp\left(-\frac{t}{\hat{T}_{д.с}}\right);$$

$$\hat{p} = \exp(-\hat{\omega}t); \quad \hat{p} = \exp(-\hat{\lambda}t).$$

где t - наработка, которая может приниматься равной средней продолжительности полета или другой заданной величине.

Оценка достоверности и точности определения среднестатистических показателей производится по методу доверительных интервалов.

Управления уровнем безотказности во многом определяется своевременностью выявления и устранения опасных отклонений в ФС ВС. Поэтому основными принципами управления являются: своевременное выявление отклонений, которые приводят к инцидентам; оценка их степени опасности; прогнозирование тенденций влияния опасностей на уровень безопасности полетов; своевременная разработка предупредительных мероприятий и информирование исполнителей, реализация оперативных и долгосрочных мероприятий по устранению или ограничению действия опасностей; контроль их эффективности.

Основными источниками информации для принятия оперативных управляющих воздействий опасных отклонений в ФС ВС служат материалы расследования инцидентов, данные об отказах ФС ВС, отклонениях в деятельности экипажей и других авиаспециалистов, обеспечивающих техническое обслуживание и ремонт ФС ВС. Для выработки долгосрочных (стратегических) управляющих воздействий основными источниками информации являются анализы состояния уровня безотказности ФС ВС на стадии разработки, производства и эксплуатации ВС. Анализ и прогнозирование причин (факторов) на уровень безотказности ФС ВС позволяют определить основные направления деятельности по предотвращению инцидентов.

На предприятиях, производящих авиационную технику, для оценки уровня надежности самолетов статистика отказов проводится на основании информации, получаемой от авиакомпаний, в том числе карточек учета неисправностей, актов расследования инцидентов, данных о полете и количестве посадок самолетов. К примеру, в ЗАО «Авиастар-СП», используя поступающую исходную информацию, определяют среднюю наработку на отказ заменяемой ФС ВС по следующему алгоритму:

$$T_{отк} = \frac{T_n \cdot X}{N_{отк}}$$

где, X - количество заменяемых элементов ФС одного типа, установленных на данном ВС; $N_{отк}$ - количество отказов элемента ФС на всем парке данного типа ВС; T_n - суммарный налет парка ВС, на которых применяется данный заменяемый элемент.

Экспериментальные расчеты по оценке уровня безотказности по предложенной методологии показали достаточную высокую эффективность показателей интегрированной надежности ФС ВС при подготовке их к полетам, определению экономически обоснованного уровня безотказности, контроля и обеспечения надежности ВС на всех стадиях их разработки, изготовления, ввода в эксплуатацию, эксплуатации.

Безотказность элементов ФС ВС зависит от многих факторов, которые условно можно разделить на три группы:

- *конструкционные*, определяемые качеством конструирования ВС. К ним относятся: рациональность выбранных схем и конструктивного решения; качество и обоснованность выбранных материалов; ограничения по массе, габаритным размерам и стоимости; полнота учета условий эксплуатации; выбранные запасы прочности; режимы работы элементов схемы и конструкции; стандартизация и унификация элементов ФС; обеспечение возможности контроля качества изготовления в процессе производства и приспособленность к контролю состояния ВС в процессе эксплуатации.

- *производственные*, определяемые условиями и качеством изготовления ВС;

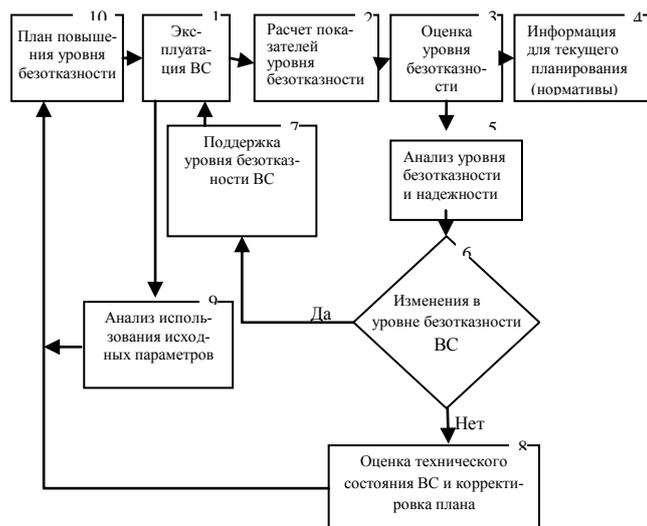


Рис. 1. Блок-схема управления уровнем безотказности в условиях послепродажного обслуживания самолетов

• эксплуатационные, определяемые воздействиями на ВС в процессе эксплуатации. Эту группу факторов составляют:

- внешние физические факторы: климатические, механические, биологические, электромагнитные, химическая активность среды, режимы нагрузок элементов;
- качество организации и осуществления технического обслуживания и процесса использования ВС по назначению;
- соблюдение установленных режимов работы и технического обслуживания ВС;
- квалификация летного и инженерно-технического состава;
- социальные условия работы и жизни личного состава;
- условия хранения ФС ВС;
- своевременность и качество проведения мероприятий по поддержанию и повышению безотказности элементов ФС ВС.

В процессе эксплуатации ВС существенное влияние на безотказность ФС ВС оказывают внешние физические факторы. На рис.1 предложена блок-схема управления уровнем безотказности в условиях послепродажного обслуживания самолетов.

Прогнозирование опасных тенденций по всей генеральной совокупности статистической информации за несколько лет позволяет эффективно определять выбор основных направлений профилактической деятельности по предотвращению инцидентов. Учитывая особенности большого массива информации на всех этапах рассматриваемой системы управления

уровнем безотказности, необходимо расширение объема автоматизированных систем сбора и обработки информации, внедрения методов количественной оценки и прогнозирования отрицательных явлений, учета и оценки эффективности предупредительных мероприятий по предотвращению инцидентов.

Выводы: исчерпывающей количественной характеристикой безотказности изделий (наработка на отказ, ресурс, время восстановления и др.) является вероятностное распределение этой величины или функция распределения. Установление аналитического выражения функции распределения случайных величин (наработок, ресурса и т.п.) позволяет определить необходимые показатели безотказности (среднее значение или гамма-процентные показатели, вероятность безотказной работы и т.п.). Выбор той или иной теоретической модели отказов обуславливает определенную точность получаемых количественных показателей безотказности. Методические погрешности оценок показателей безотказности, присущие определенным моделям, могут иметь весьма существенные значения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воробьев, В.Г. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования: учебник / В.Г. Воробьев, В.Д. Константинов. – М.: МГТУ ГА, 2010. 440 с.
2. Азарсков, В.Н. Надежность систем управления и автоматики: учеб. пособие / В.Н. Азарсков, В.П. Стрельников. – К.: НАУ, 2004. 164 с.
3. Прокофьев, А.И. Надежность и безопасность полетов: учеб. пособие для вузов гражданской авиации. – М.: Машиностроение, 1985. 184 с.

METHOD OF THE ASSESSMENT THE FLIGHTS SAFETY BY QUANTITATIVE INDICATORS OF NON-FAILURE OPERATION OF AIRCRAFTS FUNCTIONAL SYSTEMS

© 2016 V.P. Makhitko, E.A. Gavrilova

Ulyanovsk Institute of Civil Aviation

Quantitative indicators of non-failure operation level of aircrafts during their creation and operation are considered. At the same time the design assessment of this indicator at the level of aprioristic analysis and experimental assessment at the level of the posteriori analysis is used.

Key words: stream of refusals, failure rate, probability of non-failure operation