

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
ИЗДЕЛИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ И ЭКСПЛУАТАЦИИ**© 2011 В.П. Махитько¹, В.Г. Засканов², М.В. Савин²¹ Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации (институт)² Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва

Поступила в редакцию 25.11.2011

В статье предлагаются методы определения характеристик показателей надежности функциональных систем авиационной техники, основанные на использовании экспоненциального распределения, вероятностно-физической модели отказов, программного комплекса «ATLAS». Дана оценка методу, определяющему доверительную вероятность и точность (относительную ошибку) оценки показателя надежности функциональных систем. Оценка уровня надежности и его анализ представлен по результатам испытаний и технической эксплуатации авиационной техники. Ключевые слова: вероятностно-физическое распределение отказов, априорный и апостериорный анализ, механо-физико-химические параметры, экспоненциальное распределение, определительные испытания, математическая статистика, экспериментальная оценка.

Проблема обеспечения надежности разрабатываемых систем управления оборудованием авиационной техники, включающей средства вычислительной техники, современную радиоэлектронную и автоматическую аппаратуру, предполагает решение следующих основных задач:

1) прогнозирование надежности разрабатываемых функциональных систем (ФС) летательных аппаратов (ЛА) на всех этапах проектирования с выявлением слабых мест и выдачей своевременных рекомендаций по обеспечению надежности;

2) контроль достигнутого уровня надежности на конечных этапах разработки на основании результатов испытаний (эксплуатации) ЛА;

3) оптимизация надежности разрабатываемых ЛА, программными и аппаратно-программными средствами.

Повышение точности априорных оценок проектируемой надежности способствует повышению качества, производительности и конкурентоспособности разрабатываемых ЛА. Существующие инженерные аналитические методы расчета показателей надежности ЛА, как правило, основаны на использовании однопараметрического экспоненциального распределения наработки элементов до отказа. При этом предполагается, что в течение срока службы элементы не поддаются старению и износу, а при очередном отказе элементов ЛА в надежности смысле полностью восстанавливается. Это весьма гру-

бое моделирование надежности элементов ЛА приводит к большим методическим погрешностям оценок искомых показателей надежности ЛА. В настоящее время практически все решения разнообразных сложных задач надежности получены на основании использования экспоненциального закона, то есть на основе использования строго вероятностной (статистической) модели надежности.

Строго вероятностный (статистический) подход к исследованию надежности ряда ЛА становится практически невозможным из-за отсутствия статистики отказов ввиду высокой надежности ЛА или наличия единичных экземпляров. Кроме того, отсутствие связи показателей надежности с физическими характеристиками ЛА и внешними условиями эксплуатации не дает возможности эффективно управлять проектированием и обеспечением необходимого уровня надежности разрабатываемых и эксплуатируемых ЛА.

Другой путь установления количественных показателей надежности в отличие от строго вероятностного подхода основан на изучении механо-физико-химических свойств и некоторых физических параметров ЛА, характеризующих техническое состояние последних. А именно, установление количественных показателей надежности основано на определении аналитической связи показателей надежности с закономерностями износа, в частности со скоростью протекания физико-химических процессов. В этом случае наиболее эффективным и общим является подход, основанный на использовании в качестве моделей износа случайных процессов и стохастических кинетических уравнений, кото-

Махитько Вячеслав Петрович, кандидат экономических наук, доцент. E-mail: mpr-1945@mail.ru

Засканов Виктор Гаврилович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой организации производства.

Савин Максим Валерьевич, аспирант.

рый приводит к законам распределения отказов. Данный подход называется вероятностно-физическим, поскольку он непосредственно устанавливает связь *вероятности* отказа и *физического* параметра, вызывающего отказ. Вследствие этого параметры получаемого вероятностного распределения отказов имеют определенный физический смысл. Распределение отказов (распределение наработки до отказа), параметры которого имеют конкретную физическую интерпретацию, принято называть *вероятностно-физическим* распределением отказов. Под определяющими параметрами в данном случае имеют в виду такие «первичные» физические параметры (скопление дислокаций и других дефектов, пластические и упругие деформации, механический износ, проводимость контактирующих, сплошных проводников тока и *n-p* переходов и др.), превышение которыми определенных предельных значений приводит к отказу.

Вероятностно-физические модели имеют большее преимущество перед строго вероятностными моделями надежности в том, что их параметры могут быть оценены на основании, как статистики отказов, так и анализа физического износа. Для многих ЛА задачу оценки надежности можно решить в результате измерения некоторых определяющих параметров в процессе испытаний, которые не доводят ЛА до стадии разрушения.

Необходимо отметить, что в современных условиях строгого дефицита времени и незначительной статистики отказов только вероятностно-физический подход, дополнительно использующий информацию о физическом износе ЛА, способен эффективно решать необходимые для инженерной практики задачи надежности, в том числе расчет надежности оборудования ЛА. В настоящей статье представлены современные методы решения всех основных задач надежно-

сти на основе вероятностно-физической теории надежности.

Отказы элементов ЛА вызывают большие потери средств, сил и времени из-за разрушения оборудования ЛА, необходимости проведения восстановительных работ и связанных с ними простоев ЛА, ущерба от невыполнения определенных задач. Кроме того, недостаточная надежность ЛА отрицательно влияет на безопасность их эксплуатации.

Исследования отказов ЛА, например, на основе экспоненциального распределения, представляют собой однопараметрическую функцию, которая широко использовалась до настоящего времени в теории надежности благодаря простоте модели. Однако необходимо критически подходить к применению этой модели, так как однопараметричность модели накладывает на нее ряд существенных ограничений, делает ее грубо приближенной и приводит к очень большим погрешностям, как при расчете надежности, так и при экспериментальной оценке. Основные характеристики этого распределения приведены в табл. 1.

Отсюда, все известные методы показателей надежности, основанные на использовании строго вероятностных моделей распределения отказов (экспоненциального, Вейбулла и др.), допускают только два возможных состояния элементов системы – исправное и неисправное, вероятностное сочетание которых определяет также двухпозиционное состояние системы в целом – работоспособное или неработоспособное. Метод расчета [2], основанный на использовании вероятностно-физической модели, отличается от строго вероятностных методов тем, что он рассматривает непрерывное множество состояний элементов и системы с непрерывным временем и называется вероятностно-физическим методом.

Таблица 1. Характеристики распределения

Характеристика экспоненциального распределения	Расчетная формула
Плотность вероятности	$f(t) = \frac{1}{\lambda} \exp(-\lambda t)$
Модель отказов (функция распределения наработки до отказа)	$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$
Модель надежности (вероятность безотказной работы)	$R(t) = \exp(-\lambda t)$
Математическое ожидание	$M[t] = \lambda^{-1}$
Дисперсия	$D(t) = \lambda^{-2}$
Коэффициент вариации	$V(t) = 1$
Коэффициент асимметрии	$A_s = 2$
Коэффициент эксцесса	$E_k = 9$

По результатам исследования определенных параметров, характеризующих техническое состояние ЛА, можно отыскать параметр, информирующий о расходе ресурса ЛА, и, оценив скорость его изменения и зная его предельное значение, можно прогнозировать все необходимые количественные показатели надежности ЛА.

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

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

Из-за сложности физических процессов, приводящих к отказу, и 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 надежности. Как известно, количественной характеристикой случайного события является его вероятность, которая приблизительно равна частоте появления события в достаточно длинной последовательности наблюдений при неизменных условиях.

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

Первый этап исследования надежности называют априорным анализом надежности. Существуют еще несколько определений этого этапа оценки надежности: аналитические методы расчета надежности разрабатываемых ЛА, проектная оценка надежности. Априорный анализ надежности проводится на стадии проектирования системы, когда конструкторами намечено несколько конкурирующих структурных схем ЛА. Этот анализ предполагает априори полностью известными количественные характеристики надежности всех используемых элементов ЛА. В действительности же на стадии проектирования указанными априорными данными конструктор располагает лишь для тех типов элементов ЛА, которые длительное время находились в эксплуатации. Для новых элементов ЛА нет достоверных количественных характеристик надежности, и их можно задавать по аналогии с показателями надежности применявшихся элементов ЛА или по интуиции.

Таким образом, априорный анализ базируется на априорных (вероятностных) характеристиках надежности, которые лишь приблизительно и неполно отражают действительные процессы в ЛА. Тем не менее, для сравнения показателей надежности нескольких структурных схем ЛА использование априорного анализа может быть очень полезным. Этот анализ позволит выявить на стадии проектирования слабые с точки зрения надежности места в конструкции и принять необходимые меры к их устранению, а также отвергнуть неудовлетворительные варианты построения ЛА. Именно в данном смысле априорный анализ надежности, не претендуя на выдачу достоверных количественных характеристик, имеет существенное значение в практике проектирования, и поэтому составляет неотъемлемую часть технических проектов ЛА.

Поскольку априорный анализ предполагает полностью определенными вероятностные характеристики надежности, то для его осуществления используют методы теории вероятности и теории случайных процессов.

Второй этап исследования и оценки показателей надежности уже разработанных и изготовленных ЛА называют апостериорным анализом надежности (экспериментальная оценка). Его проводят на основании статистической обработки экспериментальных данных о работоспособности и восстанавливаемости ЛА, полученных в процессе ее отладки, испытаний и эксплуатации. Целью испытаний на надежность и сбора эксплуатационных данных о надежности является оценка достигнутого уровня надежности ЛА.

В данном случае задача апостериорного анализа состоит, прежде всего, в оценке неизвест-

ных параметров по результатам наблюдений и в последующем расчете с помощью этих оценок показателей надежности.

Определительные испытания ЛА на надежность проводят для определения фактических показателей надежности ЛА с заданной точностью и достоверностью.

При планировании определительных испытаний ЛА для каждого определяемого показателя должны быть указаны:

- ожидаемое значение показателя надежности ЛА - A_{σ} ;
- ожидаемое значение коэффициента вариации наработки до отказа V_{σ} ;
- достоверность (доверительная вероятность q) и точность (относительная ошибка δ) оценки показателя надежности ЛА;
- тип плана испытаний (с восстановлением, заменой или без замены, определенной продолжительности или до определенного числа отказов ЛА).

Выбор доверительной вероятности q (двусторонней), а также относительной ошибки δ оценки показателей надежности ЛА осуществляют по согласованию с заказчиком согласно требованиям стандартов (общетехнических и отраслевых).

По результатам определительных испытаний на надежность по каждому показателю надежности вычисляют точечную оценку A , нижнюю \underline{A} и верхнюю \bar{A} доверительные границы, соответствующие заданной доверительной вероятности. Связь между односторонней p и двусторонней q доверительными вероятностями следующая:

$$\beta = \frac{1+q}{2}.$$

План испытаний на надежность ЛА устанавливает число испытаний, порядок проведения испытаний (с восстановлением работоспособного состояния ЛА после отказа, заменой отказавшей ЛА или без замены и восстановления) и критерий их прекращения.

Испытаниям (наблюдениям) ЛА подвергаются однотипные ЛА, не имеющие конструктивных или других различий, изготовленные по единой технологии и испытываемые (эксплуатируемые) в идентичных условиях. Продолжительность или объем работы (наработка) ЛА в зависимости от типа ЛА и условий их эксплуатации может измеряться в часах или циклах.

Реализация предлагаемой методологии по оценке уровня надежности осуществлялась на предприятии на пяти изделиях одного типа.

Проведена оценка уровня надежности комплектующих изделий (КИ) ЛА по результатам их эксплуатации с применением методов эксплуа-

тации по техническому состоянию.

Оценка проводилась по данным, представленным пользователями ЛА за определенный период эксплуатации.

Оценка каждого очередного этапа формировалась путем обработки полного объема данных с начала эксплуатации парка ЛА. Полный объем данных для обработки формировался на основе имеющегося объема данных предыдущего этапа, дополненного и откорректированного по данным, полученным на оцениваемом этапе. При этом, за счет увеличения объема статистических данных, на каждом новом этапе обработки, производилось уточнение как состава данных, так и оценок значений данных, оценок параметров, полученных на предыдущем этапе. При росте наработки КИ, также производилась оценка параметров по наработке КИ.

Для проведения работ формировалась база исходных данных о ходе эксплуатации ЛА и КИ, его функциональных систем для всего парка ЛА, которые по мере поступления новых данных дополнялись и соответствующим образом корректировались. Содержание базы данных проходило процедуру обязательной периодической сверки с данными соответствующего пользователя. По результатам сверки производилась необходимая корректировка содержания базы данных, на основе которой в дальнейшем производилась оценка уровня надежности и необходимый анализ.

Формирование базы данных и оценка уровня надежности проводилось с использованием программного обеспечения системы «ATLAS» [3], разработанной для решения задач мониторинга состояния всего парка ЛА.

Для построения оценки уровня надежности использовался следующий состав исходных данных:

- а) по ЛА – наработка по каждому полету (дата, продолжительность) каждого ЛА за весь период эксплуатации;
- б) по комплектующим изделиям:
 - 1) принадлежности каждого КИ ЛА;
 - 2) на каком ЛА установлен;
 - 3) дата установки, дата демонтажа;
 - 4) наработка за время каждой очередной установки;
 - 5) дата отказа;
 - 6) наработка КИ - суммарная при каждом демонтаже;
 - 7) наработка КИ на момент оценки: суммарная, после очередной установки;
 - 8) определялся состав КИ, эксплуатирувавшихся на ЛА;
 - 9) для каждого КИ определялись данные по п.п. 1-7.

Оценка проводилась с применением контроля уровня надежности каждого КИ. При этом

рассматривались условия возникновения некоторых ситуаций полета ЛА, в том числе: особая ситуация (ОС); катастрофическая ситуация (КС); аварийная ситуация (АС); сложная ситуация (СС); усложнение условий полета (УУП).

Особая ситуация – аварийное событие, характеризующее как «усложнение условий полета», «сложную ситуацию», «аварийную ситуацию», «катастрофическую ситуацию», возникновение которой, связано с воздействием неблагоприятных факторов, или их сочетания на любом из этапов полета, приводящего к снижению безопасности полета.

Катастрофическая ситуация – особая ситуация, при возникновении которой, предотвращение гибели людей или потери ЛА оказывается практически невозможным.

Аварийная ситуация – особая ситуация, характеризующаяся значительным повышением психофизиологических нагрузок на экипаж, ухудшение летных характеристик, устойчивости, управляемости и приводящая к достижению (повышению) предельных ограничений и расчетных условий полета.

Сложная ситуация – особая ситуация, характеризующаяся заметным повышением психофизиологических нагрузок на экипаж или ухудшение летных характеристик, устойчивости, управляемости летных характеристик, или выходом одного или нескольких параметров полета за эксплуатационные ограничения, но без достижения предельных ограничений и расчетных условий полета.

Усложнение условий полета – особая ситуация, характеризующаяся незначительным увеличением психофизиологических нагрузок на экипаж или незначительное ухудшение характеристик устойчивости, управляемости или летных характеристик.

Предусматривалось три вида оценки (контроля) характеристик надежности по результатам эксплуатации при внедрении оценки технического состояния. Обобщенные сведения по видам контроля приведены в табл. 2.

Для контроля уровня надежности были выбраны следующие условия:

а) контрольный уровень надежности назначался для КИ в целом.

Контрольный уровень назначался только для КИ, имеющего значимые виды отказов (*значимые виды отказов - это те, которые входят в состав причин функциональных отказов системы (входят в функцию отказа ФОС) с ОС= КС, АС, СС*), если:

1) отказ (вид отказа) КИ имеет кратность в ФОС = 2 ($p_p=2$) – независимо от возможности (условий) обнаружения, в том числе и для яв-

ных и / или, контролируемых в каждом полете (до, после, в процессе полета) отказов,

ИЛИ

2) для ОС=КС, АС, кратность не более 3, если периодичность восстановления (контроля, при котором возможно обнаружение отказа) больше, чем один полет (для ЛА расчетное время полета – 10 часов) - это отказы, обнаружение которых возможно только при выполнении : проверок, то есть только при техническом обслуживании.

б) значение контрольного уровня T_{ck} (или w) определялось из условия:

для ОС = СС, $p_r=2 - (T_b / T_c) \leq 1,6 \cdot 10^{-3}$; где $T_b = \tau_k / 2$; τ_k – периодичность контроля; Для явных и контролируемых в полете отказов $\tau_k = \tau_n = 10$ часов; $w(или \lambda_{don}) \leq 0,3 \cdot 10^{-3}$;

Расчетные значения для $\tau_k = (A \llcorner B - 150)$, (A1 – 900), (A2 – 3600 часов).

для ОС = КС, АС, $p_p = 2 - (T_b / T_c) d \leq 1,6 \cdot 10^{-4}$; $w(или \lambda_{don}) \leq 0,3 \cdot 10^{-4}$;

для ОС = КС, АС, $p_p = 3 - (T_b / T_c) d \leq 1,6 \cdot 10^{-2}$; $w(или \lambda_{don}) \leq 0,2 \cdot 10^{-2}$;

Эти значения – значения контрольного уровня на КИ в целом. Лучше выполнять контроль (расчет фактических значений по результатам эксплуатации) – 2 раза в год.

Расчет выполнялся интервальный – для каждых 1000 часов налета парка.

в) Задачей контроля являлось – проверить – есть или нет рост по интенсивности (потоку) отказов и, если есть – определить на какой наработке блока происходит такой рост.

При этом выявлялись случаи увеличения интенсивности в 2 и более раза.

Получение количественных показателей по ресурсу и надежности КИ позволяет сравнительно просто прогнозировать ожидаемую остаточную наработку (ресурс, срок службы) на любой момент эксплуатации как на стадии проектирования, когда используется та же информация, что и для прогнозирования первоначальной наработки (ресурса, срока службы), так и на стадии испытаний и эксплуатации, когда имеется возможность уточнения начальных оценок путем использования дополнительной информации.

Вид контроля уровня надежности, установлен при сертификации с результатами оценки для каждого КИ.

ВЫВОДЫ

1. Проведены обработка данных о надежности КИ ЛА за определенный период эксплуатации.
2. Начальная обработка данных (первый этап оценки) была выполнена для начального и последующего периода эксплуатации.
3. Обработка очередного этапа проводилась

Таблица 2. Выбор вида контроля

Виды контроля	Область применения (по видам отказов изделий)	Характеристика вида отказа
Вид «I» (качественная оценка)	а) КИ, не имеющие значимых для ОС=КС, АС, СС, УУП видов отказов; б) КИ, эксплуатируемые по методу «ресурса»; в) КИ, эксплуатируемые по методу «отказа»: (1) при прогнозируемом экспоненциальном характере распределения: $\lambda_{тек}(t_3 > \tau_p) = \text{const}$; (2) КИ, имеющие значимые для ОС=КС, АС, СС, УУП (ВП) виды отказов: с $n_p > 3$ для ОС=КС, АС, СС, УУ, (3) $Q_{фос}$ которых: для ОС= «КС» $\leq 10^{-11}$, ОС= «АС» $\leq 10^{-10}$, ОС= «СС» $\leq 10^{-8}$ (1/час), если не назначен вид контроля «III».	1. По результатам эксплуатации выполняется ежегодная качественная оценка надежности. 2. Контрольный уровень не назначается и не определяется.
Вид «II» (без предварительного контрольного уровня)	КИ, эксплуатируемые по методу ТЭО (при прогнозируемой возможной зависимости надежности от t_3 : $\lambda_{тек}(t_3 > \tau_p) > \lambda_{тек}(t_3 \leq \tau_p)$), имеющие значимые для ОС= КС, АС, СС, виды отказов,) $Q_{фос}$ которых: для ОС= «КС» $> 10^{-11}$, ОС= «АС» $> 10^{-10}$, ОС= «СС» $> 10^{-8}$ (1/час), в случаях, если: а) ОС= КС, АС, $n_p = 3$, при $\tau_{контроля} = t_{полета}$; б) ОС = СС $n_p = 3$, независимо от периодичности контроля;	1. Контролируется изменение фактического уровня надежности в ходе эксплуатации. Параметр – T_c или поток отказов. 2. Для контроля определяется фактический уровень на момент окончания отработки предыдущего периода (1год) с применением «ресурса».
Вид «III» с контрольным уровнем	КИ, эксплуатируемые по методу «отказа» (при прогнозируемой возможной зависимости надежности от t_3 : $\lambda_{тек}(t_3 > \tau_p) > \lambda_{тек}(t_3 \leq \tau_p)$), имеющие значимые для ОС=КС, АС, СС, виды отказов, $Q_{фос}$ которых: для ОС= «КС» $> 10^{-11}$, ОС= «АС» $> 10^{-10}$, ОС= «СС» $> 10^{-8}$ (1/час), в случаях, если: 1) вид (виды) отказа КИ имеет кратность в ФОС = 2 ($n_p = 2$) – независимо от возможности (условий) обнаружения, в том числе и для явных и / или контролируемых в каждом полете (до, после, в процессе полета) отказов) ИЛИ 2) для ОС = КС, АС, кратность не более 3, если периодичность контроля (возможность обнаружения) больше, чем один полет – это отказы, обнаружение которых возможно только при выполнении целевых проверок, т.е. только при ТО	1. Контролируется изменение фактического уровня надежности в ходе эксплуатации. Параметр – T_c или поток отказов. 2. Для контроля назначается контрольный уровень интенсивности или потока отказов. Контрольные уровни: 1) $n_p = 2$ для ОС= СС – ω (или $\lambda_{дон}$) = $0,3 * 10^{-3}$ 1/час; 2) $n_p = 3$; для ОС = КС - ω (или $\lambda_{дон}$) = $1,0 * 10^{-3}$ 1/час); Для ОС = АС – ω (или $\lambda_{дон}$) = $0,2 * 10^{-3}$ 1/час

путем добавления к объему данных предыдущего этапа новых данных, полученных на оцениваемом этапе, корректировки содержания базы данных предыдущего периода (при необходимости), и повторного расчета новых значений параметра ω_{cp}

4. Расчет значений параметра ω_{cp} (поток отказов) проводился для каждого КИ, эксплуатируемого по методу «отказов», при условии, что статистических данных достаточно для выполнения расчета (зафиксировано 3 и более отказа).

Для оценки наличия изменений ω_{cp} по мере роста наработки КИ, выполнялся расчет для не менее двух интервалов наработки КИ.

5. Проводился сравнительный анализ результатов оценки ω_{cp} :

- для сравнительной оценки уровня надежности, полученного по результатам эксплуатации (значения ω_{cp} на оцениваемом периоде), и значения контрольного уровня;

- для сравнительной оценки ω_{cp} на предыдущем и оцениваемом этапах;

- для сравнительной оценки ω_{cp} по интервалам наработки КИ.

6. Обработка и расчет производились по данным, содержащимся в базе данных системы «ATLAS».

1. В связи с корректировкой базы данных «ATLAS» и более жесткими условиями отбора данных при выполнении анализа и расчета надежности данные предыдущего этапа оценки иногда не совпадали с данными на оцениваемом этапе.

2. По результатам анализа результатов обработки установлено;

значения ω_{cp} на оцениваемом этапе не превышают установленных значений для контрольного уровня надежности,

- существенного роста ω_{cp} по мере увеличения наработки КИ не выявлено,

- существенного роста значения ω_{cp} при наработках, превышающих установленные значения ресурса до первого ремонта или назначенного не выявлено.

Таким образом, данных, требующих изменения состава (перечня) КИ, эксплуатируемых

по методу «отказов», не выявлено.

3. По результатам анализа в ЛА может быть выделен ряд КИ по следующим признакам (см. п.6 Выводов):

(а) значения ω_{cp} по интервалам наработки отличаются друг от друга;

(б) высокие значения ω_{cp} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев В.Г., Константинов В.Д. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования: учебник. М.: МГТУ ГА, 2010. 440 с.
2. Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики: Учебное пособие. К.: НАУ. 2004. 164 с.
3. Система сбора, обработки и анализа данных об эксплуатации воздушных судов «ATLAS». НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». 2011.

METHODS OF PRODUCTS RELIABILITY EVALUATION BASED ON THE RESULTS OF TESTS AND OPERATION

© 2011 V.P. Mahitko¹, V.G. Zaskanov², M.V. Savin²

¹Ulyanovsk Higher Civil Aviation School

²Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev

The article considers method of determining aeronautical equipment functional systems reliability measures, based on the exponential distribution, statistical physical model of failures, software system "ATLAS". In this article the author outlines the method, determining confidence coefficient and accuracy (relative error) in functional systems reliability evaluation. The reliability evaluation and its analysis are given in accordance with the results obtained from tests and operation of aeronautical equipment.

Key words: statistically physical distribution of failures; a priori and a posteriori analysis; mechanical-physical-chemical parameters, exponential distribution; determinative tests; mathematical statistics; experimental evaluation.

Vyacheslav Mahitko, Candidate of Economics, Associate Professor. E-mail: mvp-1945@mail.ru

Viktor Zaskanov, Doctor of Technics, Professor, Head at the organization of production Department.

Maxim Savin, Graduate Student.