

Д. А. Затучный

К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРЕДОТКАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

D. A. Zatuchny

TO THE QUESTION ABOUT PROGNOSTICATION OF THE PRE-REFUSE STATE OF OBJECT OF EXPLOITATION OF AIR TRANSPORT

Аннотация. Приведен подход к решению актуальной проблемы – прогнозированию предотказового состояния различных объектов эксплуатации. Приведены факторы, которые необходимо учитывать для прогнозирования развития предотказового состояния объектов эксплуатации воздушного транспорта. Для оценки масштаба проблем, вызванных ситуацией, связанной с развитием предотказовых ситуаций, проведена иллюстрация на примере радиоэлектронного оборудования. Рассмотрены различные состояния радиоэлектронного оборудования. Приведена математическая модель развития предотказового состояния. Дана рекомендация, что для расчета производственно-технологических отклонений и допусков следует использовать метод разложения функций в ряды и метод Монте-Карло. Сделан вывод о возможности выполнения расчета всех вероятностных характеристик для процесса развития предотказового состояния на этапе разработки и определения расчетно-эксплуатационных характеристик объектов эксплуатации воздушного транспорта. Сделан вывод об ограниченности объема информации, которую можно использовать для прогнозирования предотказового состояния объекта эксплуатации. Приведены три условия, при которых информацию, полученную в ходе испытаний аналогичных объектов, можно использовать.

Ключевые слова: предотказовое состояние, эксплуатация воздушного транспорта, допуск, вероятностная характеристика, состояние радиоэлектронного оборудования.

Abstract. Going near the decision of issue of the day is resulted in this article – to prognostication of the pre-refuse state of different objects of exploitation. Factors which must be taken into account for prognostication of development of the pre-refuse state of objects of exploitation of air transport are resulted. For the estimation of scale of problems, caused a situation, related to development of pre-refuse situations, illustration is conducted on the example of radio electronic equipment. The mathematical model of development of the pre-refuse state is resulted. Recommendation is given, that for the calculation of production-technological rejections and admittances it is necessary to use the method of decomposition of functions in rows and method of Monte Carlo. A conclusion is done about possibility of implementation of calculation of all probabilistic descriptions for the process of development of the pre-refuse state on the stage of development and determination of calculation-operating descriptions of objects of exploitation of air transport. A conclusion is done about narrow-mindedness of volume of information which can be used for prognostication of the pre-refuse state of object of exploitation. Three conditions are resulted, at which information, got during the tests of analogical objects, it is possible to use.

Key words: pre-refuse state, exploitation of air transport, admittance, probabilistic description, state of radio electronic equipment.

Введение

Свойства и характеристики объектов эксплуатации воздушного транспорта могут быть описаны набором различных параметров. Последние характеризуются как своими случайными начальными значениями (отклонениями), так и случайными изменениями во времени, возникающими вследствие внешних воздействий и протекающих в элементах оборудования процессов износа. Управление состоянием сложных систем, к каковым относятся объекты эксплуатации воздушного транспорта, по элементам осуществляется путем некоторых целенаправленных действий, на основе получаемой или рабочей информации о состоянии системы и ее элементов, а также на основе имеющейся априорной информации об их свойствах, особенностях и командах, поступающих от системы [1].

Для описания процессов управления обычно опираются на системный подход, при котором исследуемые явления, системы, объекты, устройства и т.п. рассматриваются комплексно как слож-

ные системы. Под сложной системой понимается совокупность подсистем и множества элементов разной физической природы и со случайными параметрами, находящимися в сложном взаимодействии и развитии при наличии внешних воздействий и связей. При этом то или иное устройство или сама система не могут рассматриваться только с позиций алгоритмов, работы, принципа действия, функциональных и принципиальных схем, при этом обязательно должны учитываться как развитие и износ систем, так и ее условия эксплуатации.

Проблемы, связанные с развитием предотказовых ситуаций

Для прогнозирования развития предотказового состояния объектов эксплуатации воздушного транспорта необходимо учитывать следующие аспекты [2]:

- закономерности изменения состояния объектов эксплуатации воздушного транспорта и его элементов в процессе функционирования (в силу особенностей и технической реализации современной аппаратуры и технологии ее изготовления эти закономерности являются вероятностно-статистическими. Они могут относиться к полному прекращению действия оборудования (внезапные отказы) или к изменению его параметров вследствие дрейфа, старения, деградации и т.п.);
- закономерности влияния изменения состояния объектов эксплуатации воздушного транспорта и его элементов (их параметров и характеристик) на параметры и характеристики информационной системы, в части определения допустимых значений параметров системы;
- методы контроля текущего состояния объектов эксплуатации воздушного транспорта и его элементов, а также методы выявления предотказовых и отказовых ситуаций, как при внезапных отказах, так и при «дрейфе» параметров (постепенные отказы, параметрические отказы, старение, деградация, износ);
- методы и возможности индивидуального прогнозирования состояния и надежности объектов эксплуатации воздушного транспорта и их элементов.

Совершенно очевидно, что перечисленные выше аспекты в общем случае находятся в сложной взаимозависимости.

Однако определяющее влияние на эксплуатационные свойства объектов эксплуатации воздушного транспорта, а стало быть, на эффективность управления, оказывают закономерности изменения его состояния в процессе функционирования, т.е., в конечном счете, в процессе износа.

Именно эти закономерности определяют качество функционирования объектов эксплуатации воздушного транспорта и оказывают определяющее влияние на методы контроля, регулировок, диагностирования, подстроек и поиска неисправностей, содержание и периодичность профилактических работ, на сложность, трудоемкость и эффективность всего комплекса мероприятий, проводимых в процессе технической эксплуатации, т.е. на весь комплекс вопросов, связанных с процессом управления состоянием объектов эксплуатации воздушного транспорта.

Чтобы оценить масштаб проблем, вызванных ситуацией, связанной с развитием предотказовых ситуаций, приведем иллюстрацию на примере радиоэлектронного оборудования (РЭО).

Возможны следующие состояния РЭО [3]:

- 1) работает, исправен;
- 2) исправен, контролируется;
- 3) неисправен, на текущем ремонте;
- 4) свернут, снят с дежурства;
- 5) неисправен, в среднем ремонте;
- 6) неисправен, в капитальном ремонте;
- 7) свернут, списывается;
- 8) разворачивается, вводится в строй;
- 9) находится на текущем техническом обслуживании;
- 10) находится на техническом обслуживании средней периодичности;
- 11) находится на техническом обслуживании большой периодичности;
- 12) простаивает в ожидании запасной детали, необходимой для восстановления утраченной работоспособности.

Как видно, из 12 возможных состояний, девять однозначно могут быть отнесены к предотказовому состоянию.

Математическое описание развития предотказовой ситуации

Квазидетерминированные модели удобно использовать для расчета эксплуатационных характеристик объектов эксплуатации воздушного транспорта и его элементов на этапе разработки. Очевидна важность получения на этом количественного описания эксплуатационных характеристик, что должно позволить принимать обоснованные решения по принципу действия, схемам и конструкции оборудования. Вместе с тем очевидны и имеющиеся трудности, так как само оборудование еще не изготовлено (или имеется несколько экземпляров опытных образцов), а поэтому испытания не могут дать объемного представления об эксплуатационных характеристиках.

Тем не менее на этапе разработки можно располагать вероятностным описанием элементов или простейших устройств, основываясь на результатах исследований, проведенных с ними при предшествующих разработках, или проведя их в процессе данной разработки, поскольку по затратам времени и средств это значительно проще, чем испытания всего оборудования.

Предположим, что функциональные зависимости, дающие связь между первичными параметрами x_i и вторичными параметрами, т.е. параметрами устройств y получены аналитически или из опыта [4]

$$y = f(x_1 \dots x_i \dots x_k). \quad (1)$$

Такие зависимости или расчетные формулы широко используются при выполнении обычных расчетов. Если x_i рассматривать как случайные величины или случайные функции $x_i \rightarrow \tilde{x}_i \rightarrow \tilde{x}_i(t)$, то прямой расчет оказывается невозможным, так как известны не значения x_i или $x_i(t)$, а их функции распределения $W(x_1 \dots x_i \dots x_k)$ или $W(x_1 \dots x_i \dots x_k t)$, которые не могут быть подставлены в формулу (1). Кроме того, при случайных x_i параметр y также оказывается случайным, а поэтому необходимо искать не его конкретное значение, а вероятностные характеристики $W(y)$, $m_1(y)$ и $D(y)$ или $W(yt)$, $m_1(yt)$ и $D(yt)$, что выражением (1) не предусмотрено.

Известно, что для строгого решения этой задачи необходимо выполнить функциональные преобразования совокупности случайных величин. Это связано со значительными, а иногда и непреодолимыми математическими трудностями. Поэтому целесообразно использовать приближенные методы. Это даст возможность решать рассматриваемую задачу в двух основных вариантах: расчет свойств аппаратуры как объекта производства (отклонения при изготовлении, допуска и т.п.) и расчет эксплуатационных свойств.

Для расчета производственно-технологических отклонений и допусков можно использовать метод разложения функций в ряды и метод Монте-Карло.

Рассмотрим принципы расчета эксплуатационных свойств объектов эксплуатации воздушного транспорта. Для этого необходимо найти вероятностное описание для различных моментов или интервалов времени $W(y, t)$ или $W(y_1 y_2 \dots t_1 t_2 \dots)$ и вероятностное описание времени достижения границы $W(t_{gr}, y_{gr})$. Строгое решение этой задачи еще более сложно, чем для отклонений при изготовлении.

Поэтому для расчета эксплуатационных характеристик воспользуемся приближенным методом, основанным на одной из квазидетерминированных моделей, т.е. линейной модели [5]. Положим, что

$$x_i(t) = x_{i0}(1 + \tilde{\alpha}_{xi}t), \quad (2)$$

причем известны $W(\alpha_{xi})$, $m_1(\alpha_{xi})$ и $D(\alpha_{xi})$.

Из формулы (2) следует, что $\alpha_{xi} = \frac{dx_i(t)}{dt} \times \frac{1}{x_{i0}}$.

Для выходного параметра также примем линейную квазидетерминированную модель

$$\tilde{y}(t) = y_0(1 + \tilde{\alpha}_y t) \text{ и } \alpha_y = \frac{dy(t)}{dt} \times \frac{1}{y_0}. \quad (3)$$

Вероятностное описание для $\tilde{\alpha}_y$ неизвестно, и его надлежит выразить через $\tilde{\alpha}_{xi}$. Продифференцировав (1), получим

$$\frac{dy}{dt} = \sum_{i=1}^k \frac{df}{dx_i} \times \frac{dx_i}{dt}. \quad (4)$$

Полагая, что отклонение переменных ограничено, производную $\frac{df}{dx_i}$ можно рассматривать в точке $x_i = x_{i0}$. Умножим левую и правую части на $\frac{1}{y_0}$, а в правую введем множитель $\frac{x_{i0}}{x_{i0}}$. Это приводит к следующему равенству:

$$\tilde{\alpha}_y = \frac{1}{y_0} \frac{dy}{dt} = \sum_{i=1}^k A_i \tilde{\alpha}_{xi}, \quad (5)$$

где $A_i = \left. \frac{df}{dx_i} \right|_{x_i \rightarrow x_{i0}} \frac{x_{i0}}{y_0}$ – коэффициенты влияния, которые можно найти, например, дифференцированием функции (1).

Существует много аналитических, вычислительных и экспериментальных методов получения A_i , на которых не останавливаемся, поскольку они изложены в литературе.

Пользуясь выражением (5) и зная вероятностное описание α_{xi} , а именно: $m_1(\alpha_{xi})$ и $D(\alpha_{xi})$, можно найти вероятностное описание α_y , а именно: $m_1(\alpha_y)$ и $D(\alpha_y)$:

$$\begin{cases} m_1(\alpha_y) = \sum_{i=1}^k A_i m_1(\alpha_{xi}) \\ D(\alpha_y) = \sum_{i=1}^k A_i^2 D(\alpha_{xi}) \end{cases}. \quad (6)$$

В связи с тем, что $\tilde{\alpha}_y$ получается в результате суммирования, как это следует из формулы (1), можно ожидать, что $W(\alpha_y)$ имеет тенденцию к нормализации. Изменяя величину и знак A_i , а также величину и знак $m_1(\alpha_{xi})$, можно добиться того, чтобы $m_1(\alpha_y) \rightarrow 0$, т.е. осуществить компенсацию. Однако она относится только к средним значениям. Величина дисперсии $D(y)$ не может подвергаться компенсации, так как A_i^2 и $D(\alpha_{xi})$ всегда положительны. Более того, добавление компенсирующих элементов может увеличить дисперсию $D(y)$. Это существенно ограничивает реальные возможности компенсации, поскольку индивидуальный подбор во многих случаях неприемлем из-за значительных затрат.

Как только из формулы (6) найдено вероятностное описание для α_y , квазидетерминированная модель (1) полностью определена, и можно выполнить расчет всех вероятностных характеристик для процесса $\tilde{y}(t)$ на этапе разработки, определить расчетно-эксплуатационные характеристики объектов эксплуатации воздушного транспорта и принять решение о приемлемости результатов или о необходимости доработки схемы, конструкции и используемых элементов, не проводя затрат на разработку чертежей, изготовление и испытание устройств.

Если использовать более сложные квазидетерминированные модели (полиномиальные, логарифмические, экспоненциальные), то расчеты существенно усложняются.

Заключение

Поскольку прогноз предсказового состояния объекта эксплуатации воздушного транспорта носит вероятностный характер, то большое внимание должно быть уделено объему информации, необходимой для оценки вероятности отказа.

При этом следует отметить, что временной ресурс, отведенный на испытания подобных систем не очень велик, и поэтому для расчета надежности обычно имеется не очень большая выборка по объему испытаний и количеству отказов. Данные по испытаниям систем, аналогичным исследуемой, можно использовать только при наличии трех условий:

- 1) одинаковая элементная база этих систем и исследуемой;
- 2) одинаковая технологическая база;
- 3) одинаковые условия эксплуатации.

Библиографический список

1. Затучный, Д. А. К вопросу о достоверности передаваемой информации в режиме автоматического зависящего наблюдения / Д. А. Затучный // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 1. – С. 225–226.
2. Затучный, Д. А. Статистическая оценка достоверности навигационной информации, передаваемой с борта воздушного судна в режиме автоматического зависящего наблюдения / Д. А. Затучный // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 1. – С. 54–56.
3. Затучный, Д. А. Повышение точности оценки достоверности информации, передаваемой при автоматическом зависящем наблюдении, на основе анализа качества дополнительных данных / Д. А. Затучный // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 1. – С. 226–229.
4. Недельский, М. Н. Применение квазидетерминированных моделей для оценки степени деградации эксплуатируемых авиационных систем / М. Н. Недельский // Научный Вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2008. – № 126. – С. 36–39.
5. Недельский, М. Н. Прогнозирование процессов деградации элементов авиационных систем / М. Н. Недельский // Научный Вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2009. – № 139. – С. 54–58.

References

1. Zatuchny D. A. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadyozhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2016, vol. 1, pp. 225–226.
2. Zatuchny D. A. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadyozhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2016, vol. 1, pp. 54–56.
3. Zatuchny D. A. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadyozhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2016, vol. 1, pp. 226–229.
4. Nedel'skij M. N. *Nauchnyj Vestnik MGTUGA* [Scientific Bulletin of the Moscow state technical University of civil aviation]. 2008, no. 126, pp. 36–39.
5. Nedel'skij M. N. *Nauchnyj Vestnik MGTUGA* [Scientific Bulletin of the Moscow state technical University of civil aviation]. 2009, no. 139, pp. 54–58.

Затучный Дмитрий Александрович
кандидат технических наук, профессор,
кафедра вычислительных машин, комплексов,
систем и сетей,
Московский государственный технический
университет гражданской авиации
(125993, Россия, г. Москва,
Кронштадтский бульвар, 20)
E-mail: zatuch@mail.ru

Zatuchnyy Dmitriy Aleksandrovich
candidate of technical sciences, professor,
sub-department of calculable machines,
complexes, systems and networks,
Moscow State Technical University of Civil Aviation
(125993, 20 Kronshtadtskiy avenue, Moscow, Russia)

УДК 621.396.98.004.1

Затучный, Д. А.

К вопросу о прогнозировании предотказового состояния объекта эксплуатации воздушного транспорта / Д. А. Затучный // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 12–16. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-3-2.