электронное научно-техническое издание
НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ
Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025. ISSN 1994-0408

Алгоритмическое обеспечение методики прогнозирования остаточного ресурса технических объектов на основе метода формализации экспертной информации

77-30569/259313

01, январь 2012

Кунько А. Е., Спесивцев А. В.

УДК 681.518.5

ВКА им. А.Ф. Можайского
ООО «Сумма технологий»
A_Kunko@mail.ru
office@summatechnology.ru

Введение

Значительная доля информации о фактическом техническом состоянии (ТС) различных объектов, процессов или явлений поступает от экспертов, в качестве которых обычно выступают высококвалифицированные специалисты в данной отрасли знаний. Даже в такой, казалось бы, технически оснащенной отрасли как космонавтика ее доля в некоторых секторах составляет около 60 %. Одной из причин подобного состояния дел в области оценивания ТС объекта является крайняя бедность аппарата извлечения и особенно представления экспертной информации аналитическими выражениями.

В работе [1] разработаны теоретические положения, алгоритм и методика построения математических фаззи-моделей на основе формализации экспертной знаний. При работе инженера знаний с экспертом методика позволяет:

- производить выбор факторного пространства, то есть набор наиболее существенных переменных, в котором функционирует оцениваемый объект;

- синтезировать обобщенный показатель технического состояния объекта (ОПТСО) и его интерпретацию при использовании;

- построить специальную опросную матрицу, позволяющую проводить системный опрос эксперта по ТС объекта в выбранном факторном пространстве с использованием методов теории планирования экспериментов;

- построить полиномиальную модель для количественного оценивания ТС объекта как отражение логики понимания его экспертом.

По созданной таким образом модели проводят оценивание ОПТСО в целях использования получаемых значений для различных видов анализа.

Основными достоинствами такого подхода к процессу извлечения и представления знаний эксперта является возможность в любой необходимый момент времени получить количественную оценки ТС объекта в многомерном пространстве нечетких переменных и проводить на ее основе мониторинг изделий, что дает основание для выработки гибкой стратегии эксплуатации объектов исследования. Кроме того, полученная с помощью данного метода полиномиальная модель допускает применение методов математического анализа ее с целью извлечения принципиально новой информации о функционировании объекта в данных конкретных условиях его эксплуатации.

Данный метод нашел свое применение при решении ряда практических задач, связанных с построением диагностических моделей, позволяющих производить количественную оценку фактического состояния ряда технических объектов. При этом эксперт выступает как «интеллектуальная измерительно-диагностическая система» [2].

Целью данной статьи является продемонстрировать алгоритмическое обеспечение методики прогнозирования остаточного ресурса с использованием фаззи-моделей ОПТСО химических источников тока (ХИТ) в качестве базы знаний для создания автоматизированных систем подобного рода.

1. Обобщенный показатель технического состояния ХИТ

В работе [3] детально рассмотрены этапы построения ОПТСО оценивания фактического состояния ХИТ на основе выбранного экспертом факторного пространства, переменными, в том числе и нечеткими, которого явились:

x_1 – продолжительность эксплуатации;

x_2 – среднее значение температуры характерного участка поверхности изделий;

x_3 – величина сопротивления изоляции электрических цепей;

x_4 – величина разбаланса энергетических характеристик аккумуляторов в батарее (по значению напряжения разомкнутой цепи);

x_5 – состояние контактных соединений;

x_6 – режим эксплуатации;

x_7 – наличие признаков разгерметизации.

Полученное выражение для количественной оценки обобщенного параметра технического состояния ОПТСО изделий имеет вид:

$$\begin{aligned} Y = {} & 0{,}416 + 0{,}0787x_1 + 0{,}1313x_2 + 0{,}0313x_4 + 0{,}0102x_6 + 0{,}0948x_7 + \\ & + 0{,}0154x_1x_4 - 0{,}0106x_1x_5 - 0{,}0257x_1x_6 + 0{,}0105x_2x_5 - 0{,}0106x_3x_5 + \\ & + 0{,}0107x_4x_6 + 0{,}0105x_4x_7 - 0{,}0107x_1x_2x_7 + 0{,}0104x_1x_2x_6 - 0{,}011x_1x_2x_7 - \\ & - 0{,}0106x_1x_3x_4 + 0{,}0154x_2x_4x_7 + 0{,}0209x_3x_4x_5 + 0{,}0101x_3x_5x_6 - 0{,}0107x_3x_5x_7, \end{aligned} \quad (1.1)$$

где переменные факторного пространства $x_1 \div x_7$ представлены в кодированном виде.

Обратим внимание на две важные особенности модели:

- факторное пространство содержит только определяемые с помощью неразрушающего контроля переменные. Проведенный анализ нормативно-технической документации и научно-технической литературы, посвященной особенностям функционирования различных типов ХИТ, позволил выделить ряд предпосылок к формированию факторного пространства на основе тепловизионных показателей, в данном случае такими переменными являются x_2 и x_5;

- явно выраженная нелинейность построенной фаззи-модели в виде полиномиального выражения (1.1), которое адекватно описывает мнение эксперта об изучаемом явлении. Отметим попутно, что значимые нелинейные коэффициенты разложения полинома отражают «неявные» знания эксперта, которыми он пользуется при оценивании и которые самостоятельно в явном виде оценить не в состоянии. Такую информацию можно извлекать из сознания эксперта только по предлагаемому методу [1], реализованному в методике для оценивания ТС ХИТ в [3].

2. Методика прогнозирования остаточного ресурса ХИТ

Помимо оценки фактического ТС, вышеупомянутый метод позволяет также использовать его прогнозные значения для оценивания остаточного срока эксплуатации исследуемого объекта.

Методика прогнозирования остаточного ресурса ХИТ с использованием полученной модели (1.1) состоит в следующем.

1. Находятся частные производные выражения (1.1) по всем входящим в него переменным:

$$\left.\begin{aligned}
&\partial Y/\partial x_1 = 0{,}0787 + 0{,}0154x_4 - 0{,}0106x_5 - 0{,}0257x_6 + 0{,}0104x_2x_6 - \\
&- 0{,}0217x_2x_7 - 0{,}0106x_3x_4; \\
&\partial Y/\partial x_2 = 0{,}1313 + 0{,}0105x_5 + 0{,}0104x_1x_6 - 0{,}0217x_1x_7 + 0{,}0154x_4x_7; \\
&\partial Y/\partial x_3 = -0{,}0106x_5 - 0{,}0106x_1x_4 + 0{,}0209x_4x_5 + 0{,}0101x_5x_6 - 0{,}0107x_5x_7; \\
&\partial Y/\partial x_4 = 0{,}0313 + 0{,}0154x_1 + 0{,}0107x_6 + 0{,}0105x_7 - 0{,}0106x_1x_3 + \\
&+ 0{,}0154x_2x_7 + 0{,}0209x_3x_5; \\
&\partial Y/\partial x_5 = -0{,}0106x_1 + 0{,}0105x_2 - 0{,}0106x_3 + 0{,}0209x_3x_4 + 0{,}0101x_3x_6 - \\
&- 0{,}0107x_3x_7; \\
&\partial Y/\partial x_6 = 0{,}0102 - 0{,}0257x_1 + 0{,}0107x_4 + 0{,}0104x_1x_2 + 0{,}0101x_3x_5; \\
&\partial Y/\partial x_7 = 0{,}0948 + 0{,}0105x_4 - 0{,}0217x_1x_2 + 0{,}0154x_2x_4 - 0{,}0107x_3x_5
\end{aligned}\right\} \qquad (2.1)$$

2. Рассчитывается градиент ОПТСО по фактическому ТС на момент обследования:

$$grad(Y) = \sqrt{\sum (dY/dx_i)^2}$$

3. Вводится коэффициент относительного времени оставшегося ресурса τ_i для *i*-го случая в виде выражения:

$$\tau_i = (Y_i - Y_{пред}) / grad(Y_i),$$

где $Y_{ïðåä.}$ – значение ОПТС, соответствующее переходу изделия в предельное состояние.

4. Рассчитывается прогнозируемый срок эксплуатации изделия:

$$t_{прогн} = t_{гар} \tau_i^{факт.} / \tau^{гар.},$$

где $t_{гар.}$ – гарантийный срок эксплуатации изделия; $\tau_i^{факт.}$ – фактическое значение коэффициента относительного времени оставшегося ресурса на момент проведения обследования; $\tau^{гар.}$ – значение коэффициента относительного времени оставшегося ресурса по гарантийным данным.

3. Апробация методики прогнозирования остаточного ресурса ХИТ

Поскольку адекватность модели (1.1) доказана [3] и не вызывает сомнений, то количественные значения частных производных по (2.1) дают возможность получить дополнительную информацию о локальных скоростях изменения Y по каждой из переменных, а градиент – о совокупном изменении скорости ОПТСО на момент обследования с учетом всех особенностей эксплуатации объектов.

Численный эксперимент для проверки адекватности предлагаемой методики прогнозирования остаточного ресурса ХИТ был проведен с использованием ретроспективных статистических данных и состоял в следующем.

Рассчитывались варианты изменения значений ОПТС по (1.1) для трёх различных временных отрезков:

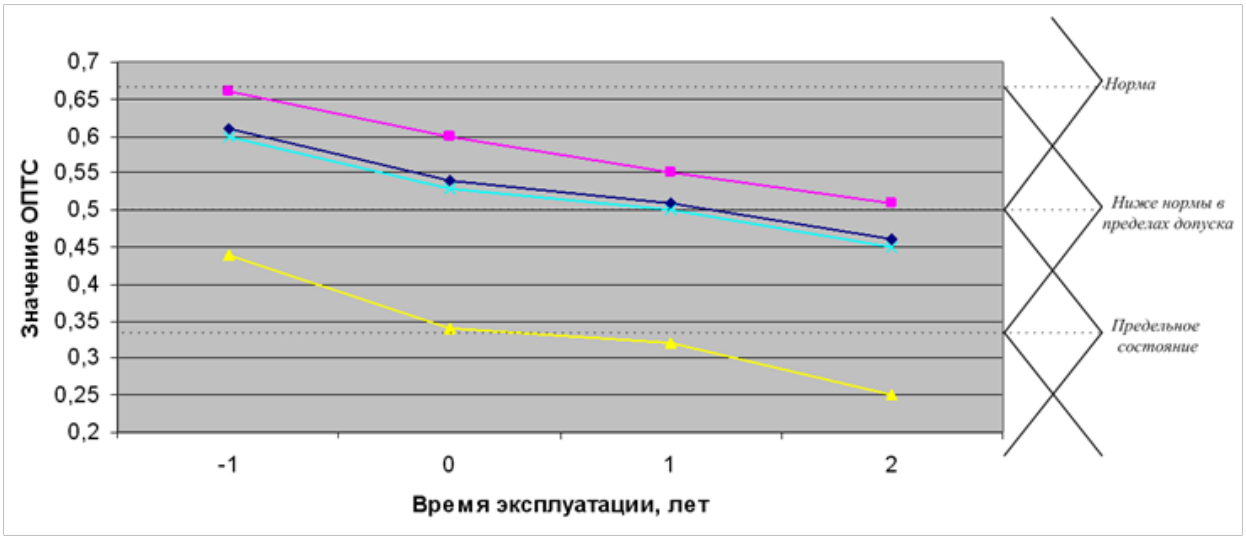
Y_{-2} – соответствует времени за 2 года до T_0;

Y_0 – соответствует времени проведенной оценки T_0;

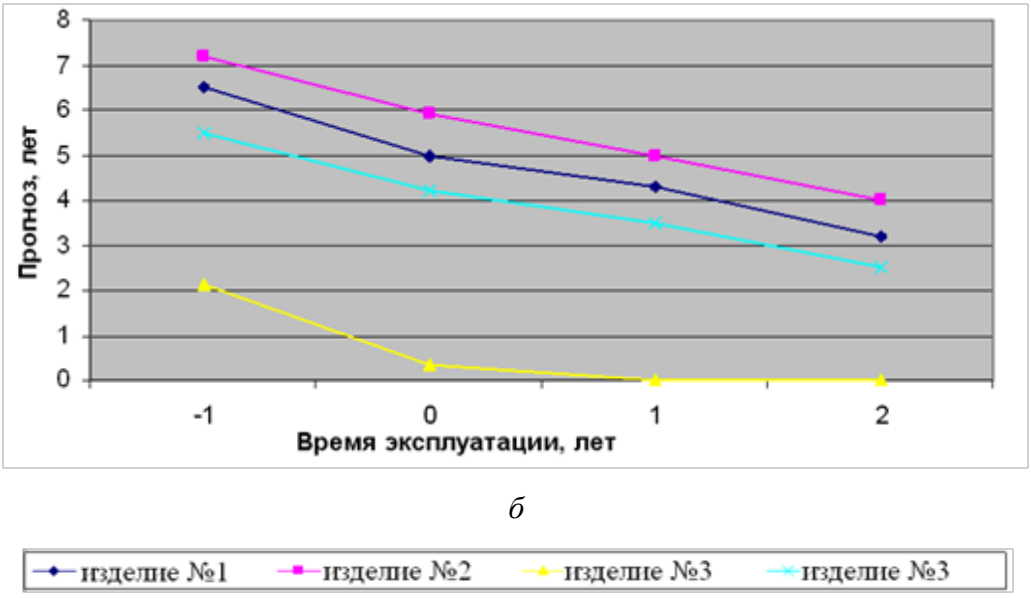
Y_{+2} – соответствует времени оценки после T_0 на 2 года вперед.

Значения компонент факторного $x_1 \ldots x_7$ пространства для варианта Y_{-2} рассчитывались интерполяцией, а Y_{+2} – экстраполяцией.

Графически зависимости оставшегося ресурса на основе расчетов по изложенной методике для 4-х изделий представлены на рис. 1 наглядно демонстрируют процесс перехода ТС изделий из одного регламентированного [3] состояния в другое (рис. 1*а*) и потерю срока службы (рис. 1*б*) во времени.



а



б

Рис. 1. Изменение ОПТСО (*а*) и прогнозируемого срока эксплуатации (*б*)

Апробация методики прогнозирования остаточного ресурса проведена также на выборке изделий 27НКМ-100 в количестве 30 штук [3].

На рис. 2 представлен график зависимости прогнозируемого остаточного ресурса от величины ОПТСО. Анализ поведения точек на графике указывает на линейную зависимость между переменными с коэффициентом корреляции 0,93.

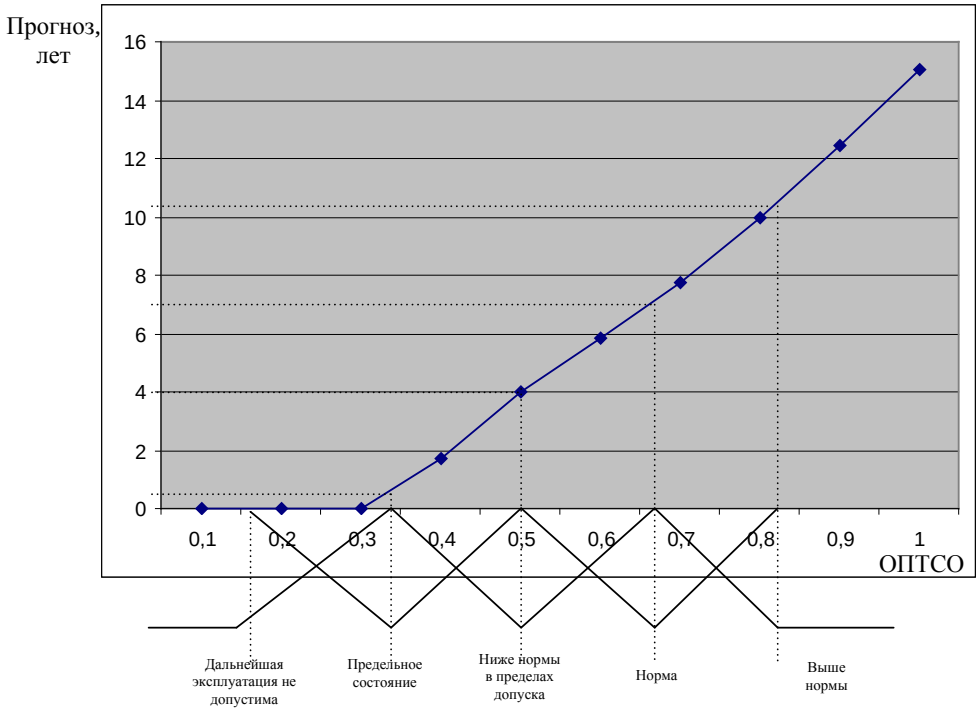


Рис. 2. Изменение прогнозируемого остаточного ресурса
от величины фактического значения ОПТСО

Выводы

1. На основе полученной модели оценивания ОПТСО ХИТ и извлечения из нее математическим анализом принципиально новой информации разработана методика прогнозирования остаточного ресурса, которая позволяет оценить остаточный срок службы изделий с учетом динамики изменения его текущего ТС.

2. Путем численных экспериментов с использованием статистических данных проведена апробация методики прогнозирования остаточного ресурса и проверка степени ее адекватности результатам технического освидетельствования ХИТ. Полученные результаты позволяют сделать вывод об адекватности данной методики изучаемому явлению и возможности ее применения на практике.

3. Применение созданной методики расчета остаточного ресурса повышает обоснованность и оперативность принятия решения о продлении срока службы ХИТ.

4. Предлагаемая методика обладает свойством универсальности и относительной простотой реализации, она может быть легко адаптирована применительно к конкретному объекту эксплуатации.

Список литературы

1. Спесивцев А.В. Управление рисками чрезвычайных ситуаций на основе формализации экспертной информации. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 238 с.

2. Спесивцев А.В., Домшенко Н.Г. Эксперт как «интеллектуальная измерительно-диагностическая система». // Сб. докладов. XIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM 23-25 июля 2010, Санкт-Петербург, Т.2. 2010. С. 28-34.

3. Кунько А.Е., Спесивцев А.В. Оценивание технического состояния химических источников тока на основе неявных экспертных знаний // Информация и космос. 2010. №4. С. 42-50.

electronic scientific and technical periodical
SCIENCE and EDUCATION
EL № FS 77 - 30569. №0421100025. ISSN 1994-0408

Algorithmic base of the method for forecasting the residual resource of technical objects based on formalization of expert information

77-30569/259313

 # 01, January 2012

Kun'ko A.E., Спesivcev A.V.

VKA im. A.F. Mojaiskogo

OOO «Summa tehnologii»

A_Kunko@mail.ru

office@summatechnology.ru

A fuzzy-model for quantitative estimation of the generalized indicator of the chemical current source technical state, built in multifactorial space of fuzzy variables, was the source of new information in the form of partial derivatives for gradient computation at any time interval. It became the foundation of creating a method for forecasting the residual resource of similar technical objects. This method allows controlling technical state of working object, increasing validity and efficiency of making the decision about whether or not to extent the term of exploitation. The developed method is multipurpose and can be easily adapted to any particular object.

Publications with keywords: residual life, object's technical state, chemical current source, fuzzy-model
Publications with words: residual life, object's technical state, chemical current source, fuzzy-model

Reference

1. Spesivtsev A.V., Management of risks of emergency situations on the basis of the formalization of the expert information, SPb, Izd-vo Politekhn. un-ta - Polytechnic University Press, 2004, 238 p.
2. Spesivtsev A.V., Domshenko N.G., The expert as "intelligent measurement and diagnostic system", in: Proc. of the XIII International Conference on Soft Computing and Measurements SCM, Sankt-Peterburg, July 23-25, 2010, Vol. 2, 2010, pp. 28-34.
3. Kun'ko A.E., Spesivtsev A.V., Estimation of the technical condition of chemical power sources based on the implicit expertise, Informatsiia i kosmos 4 (2010) 42-50.