

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН СРЕДСТВ АЭРОДРОМНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ**

А.В. Никифоров<sup>1</sup>, А.П. Бабич<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков,

<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба,)

*Рассматривается методика диагностирования состояния электрических машин средств аэродромно-технического обеспечения полетов на базе вибрационного метода по подшипниковому узлу.*

### ***остаточный ресурс, аэродромно-техническое обеспечение***

**Постановка проблемы.** Повышения эффективности использования всего комплекса средств аэродромно-технического обеспечения полетов (САТОП), поддержание его надежности и готовности на требуемом уровне при минимальных трудозатратах в значительной степени зависит от рационально выбранного метода определения технического состояния агрегатов и систем, входящих в него.

**Анализ литературы.** Безотказность и долговечность электрических машин, входящих в состав САТОП определяются состоянием и изменением характеристик, как изоляционных материалов, так и состоянием конструктивных частей (подшипники, коллекторы, магнитопровод и т.д.). Вопросу надежности электрических машин посвящено большее количество работ, чем надежности механических частей. Однако, как показал анализ, вопрос оценки долговечности механических частей электрических машин является одним из центральных в оптимизации ремонтного цикла, оценки и прогнозирования их остаточного ресурса. В процессе эксплуатации этот вопрос может быть решен с помощью технической диагностики, использующей наиболее информативные параметры.

Для этого необходимо иметь возможность регистрации изменения параметров существующими средствами диагностики.

Количество параметров должно быть минимальным, информативность – позволять определять с достаточной точностью текущее и предельное состояние элементов машин и оптимизировать объемы профилактических работ и сроки их проведения.

В качестве основных параметров ряд авторов [1] рекомендует: механические свойства материалов; геометрические размеры; длитель-

ность эксплуатации; параметр потока отказов; вибрационный режим эксплуатации; температурно-влажностный режим функционирования.

Как показывает анализ, одним из важнейших параметров технической диагностики машин для определения долговечности являются механические свойства металла, которые для конструктивных частей электрических машин используются в качестве расчетных характеристик и поэтому для большинства из них имеются нормативные требования.

По информации о состоянии металла, его физико-механических свойствах, а также динамики их изменения в перспективе для каждого конкретного случая разрабатывается интегральный критерий долговечности электрических машин. Он строится по совокупности качественных и количественных показателей работоспособности металла.

Зависимость  $i$ -го параметра металла от времени  $t$  в общем случае может быть описана экспоненциальным законом [2]

$$P_i = P_{i0} \cdot \exp(-\lambda_i t), \quad (1)$$

где  $\lambda_i$  – параметр распределения, а оценка долговечности  $T_{np}$  может быть получена из выражения

$$T_{np} = \min \left\{ -1 / \left( \lambda_i + \sum_{j=1}^n k_{ij} \right) \cdot \ln (P_{икр} - P_{i0}) / \left( \lambda_i + \sum_{j=1}^n k_{ij} \right) \right\}, \quad (2)$$

где  $n$  – число параметров, принимаемых во внимание при прогнозировании долговечности;  $P_{икр}$  – критическое значение  $i$ -го параметра по техническим условиям;  $K_{ij}$  – коэффициент взаимного влияния  $i$ -го параметра на  $\lambda_i$ .

К сожалению, трудности в этом направлении диагностики заключаются в нахождении взаимосвязи, оказывающей влияние на конструкционную прочность, требует большого количества экспериментальных данных, полученных в результате специального лабораторного контроля эксплуатируемых электрических машин. При этом должны учитываться характеристики сопротивления металла усталости, ползучести, разрушения, анализа излома разрушенных деталей

Для практического применения ряд авторов [3] предлагают использовать знание закономерностей изменения механических свойств конструктивных элементов электрических машин при эксплуатации и использование существующих аналитических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь между механическими свойствами и линейными размерами деталей машин, что позволяет определять предельные значения размеров их изнашивающихся элементов, нормировать их и определять остаточный ресурс в процессе эксплуатации. При оценке остаточного ресурса электрических машин используются простые механические свойства, например, в пластической области – предел прочности или твердости. При этом могут быть использованы существующие эмпирические связи, устанавливающие взаимосвязь между механическими свойствами при растяжении характери-

ками твердости [3]. Так, например, для определения предельного значения ми изношенного коллектора  $D_{из}$  получено выражение [4]

$$D_{из} = \frac{A \pm \sqrt{A^2 - 4(B^2 \cdot C) \cdot \frac{GR_2}{\theta} \cdot B^2(1,785 l_1 + 3,57 l_2)}}{8(B^2(0,025 l_1 h_1 + 0,05 l_1 l_2 h_2 + 0,025 l_2^2 h_2))}, \quad (3)$$

где  $G$  – вес петушков;  $R_2$  – радиус центра тяжести петушков;  $C$  – коэффициент заполнения коллектора медью;  $A = \sigma \cdot h_2^2/6$ ,  $\sigma$  – напряжение изгиба консоли при предельном износе;  $B = n_u/1000$ ,  $n_u$  – частота вращения коллектора;  $C = 0,025 l_1^2 h_1 + 0,05 l_1 l_2 h_1 + 0,025 l_2^2 h_2$ ,  $h_1$  и  $h_2$  – высота пластины коллектора до и после износа;  $l_1$  и  $l_2$  – длина петушков и консольной части пластины соответственно

**Основная часть.** Изложенный подход, использующий сочетание методов оценки механических свойств металла и периодического контроля размеров деталей электрических машин с хорошо отработанными инженерными методами определения параметров диагностирования, дает возможность применять его в практической диагностике и прогнозировании долговечности машин в целом. Однако такой подход часто требует периодическую разборку электрических машин с целью контроля размеров их деталей, а это нерационально для эксплуатации. Наиболее оптимальной следует считать вибрационную диагностику электрических машин и прогнозирования их технического состояния. В настоящее время эти вопросы разработаны недостаточно полно. При оценке состояния электрических машин и прогнозирования их технического состояния, одной из важнейших задач является выбор метода диагностирования.

Ниже приводится методика диагностирования состояния электрических машин на базе вибрационного метода и оценки их ресурса (в том числе и остаточного) по наиболее слабому звену – подшипниковому. Правомерность такого подхода показана в [5].

Техническое состояние электрической машины и ее ресурс представляется возможным определять на основе контроля нагрузки на подшипник  $Q_j$ . Каждому значению нагрузки  $Q_j$  соответствует определенное значение величины вибрации [5]. Ресурс подшипникового  $i$   $L_j$  в любой момент времени определяется измерением вибрации (например, параметра виброперемещения  $S_{max}$ ), каждому значению которой соответствует определенное значение изменяющейся с течением времени нагрузки:

$$L_i = f(Q_i). \quad (4)$$

Для этого используем выражение

$$L = 10^6 (G/Q)^k / 60 \text{ н},$$

где  $G$  – базовая динамическая грузоподъемность подшипника;  $L$  – номинальная долговечность, равная 90%-му ресурсу подшипника;  $Q$  – экви-

валентная динамическая нагрузка на подшипник;  $n$  – частота вращения кольца в минуту;  $k$  – коэффициент.

Значение  $G$  берется из справочника, а реальная нагрузка определяется из выражения [6]

$$Q = P + G + F, \quad (6)$$

где  $P$  – вес ротора;  $F$  – сила магнитного притяжения.

Остаточный ресурс определится из выражения

$$L_{\text{ост}i} = L_{ki} + L_{\text{нр}i}, \quad (7)$$

где  $L_{ki}$  – отработанная часть ресурса на момент контроля  $t_k$ ;  $L_{\text{нр}}$  – прогнозируемый ресурс при нагрузке  $Q_i(t_i = t_k)$  на основе формулы [6]

$$P(t) = \exp(-t_i / 4,48 L_i). \quad (8)$$

При заданном значении вероятности безотказной работы и определенной долговечности представляется возможным прогнозировать время назначения профилактики электрической машины.

В действительности в процессе эксплуатации нагрузка  $Q$ , возрастает и для каждой электрической машины имеет свое предельное значение  $Q_{\text{нр}}$ . В любой момент времени контроля представляется возможным «делить» техническое состояние и остаточный ресурс, оценить реальную величину  $Q_j$  по значению вибрации.

**Вывод.** На основе анализа существующих методов диагностики состояния машин и его прогнозирования предложена усовершенствованная методика безразборной вибродиагностики технического состояния электрических машин средств аэродромно-технического обеспечения полетов и прогнозирования их остаточного ресурса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шарко Л.В., Бугай Н.В. Методы неразрушающего определения свойств металла // Энергетик. – 1981. – № 2. – С. 75-77.
2. Мадоян А.А., Канцдалов В.Г., Самойленко В.П. Управление режностью и долговечностью энергооборудования. // Энергетика. – 1983. – № 4. – С. 1-4.
3. Ларин Е.А. К расчету показателей надежности элементов энергетического оборудования. // Энергетика. – 1987. – № 3. – С. 73-78.
4. Красовский Б.Н. Вопросы прочности электрических машин. – М.: Изд. Академии наук СССР, 1951. – 344 с.
5. Шунайлов А.Г. Методы вибродиагностики в оценке электрических машин // Тез. докл. 33 НТК ХВВКИУ РВ. – Х.: ХВВКИУ РВ, 1987. – С. 146.
6. Сорокин Г.К. Прогнозирование долговечности изнашивающихся элементов машин // Машиноведение. – 1988. – № 2. – С. 17-21.

Поступила 30.01.2006

**Рецензент:** доктор технических наук, ст. научный сотрудник О.Б. Леонтьев, Объединенный научно-исследовательский институт ВС Украины, Харьков.