

λ_C	Интенсивность отказа конденсатора	-	ч^{-1}	ТЗ на аппаратуру
Эмпирические коэффициенты				
$\lambda_{M,B}$	Базовая интенсивность отказов электродвигателя	Из БД	ч^{-1}	NSWC-2011/LE10
$\lambda_{W1,B}$	Базовая интенсивность отказов обмотки электродвигателя	Из БД	ч^{-1}	ТУ на материал
T_S	Предел прочности	Из БД	lb/in^2	ТУ на материал

На основании таблицы 3 ведется разработка базы данных для этого класса [5-7]. Пользователю необходимо будет выбрать типонаминал электродвигателя (номер ТУ), после чего определятся все параметры из ТУ, необходимые для расчета. После этого останется только ввести данные из ТЗ и характеристики режима применения. Если в БД нет необходимых данных, то пользователю будет выведено окно, в котором необходимо ввести все данные «вручную».

Литература

1. Маркин А.В. Методы оценки надёжности элементов механики и электромеханики электронных средств на ранних этапах проектирования. / А.В. Маркин, С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. // Надёжность. - 2010. - № 2. - с. 63-70.
2. Полесский С. Обеспечение надёжности НКРТС. / С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. - LAMBERT Academic Publishing, 2011. - 280 с.
3. NSWC-2011/LE10. Handbook of Reliability prediction Procedures for Mechanical Equipment.
4. Zhadnov V. Methods and means of the estimation of indicators of reliability of mechanical and electromechanical elements of devices and systems. / V. Zhadnov. // Reliability: Theory & Applications: e-journal. - 2011. - Vol. 2, No 4. - p. 94-102.
5. Монахов М.А. Разработка базы данных по характеристикам надёжности механических элементов. / М.А. Монахов. // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. V Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез.докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 1 февр. 2013 г. - Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013. [Электронный ресурс]: 1 электрон.опт. диск (CD-ROM).
6. Монахов М.А. Разработка баз данных для расчета интенсивности отказов механических элементов в системе АСОНИКА-К-СЧ. / М.А. Монахов. // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции учащихся и студентов: в 2 ч. - Протвино: Управление образования и науки, 2013. - ч. 2.
7. Монахов М.А. Разработка базы данных программного комплекса АСОНИКА-К для расчета надёжности радиоэлектронной аппаратуры с учетом механических элементов. / М.А. Монахов. // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ НИУ ВШЭ. Тезисы докладов. - М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013.

ЭЛЕМЕНТОВ КЛАССА «ВАЛЫ»

Хунов Т.Х., Медведев Д.В., Полесский С.Н.
(НИУВШЭ, МИЭМ)

Research of model of failure rate of mechanical elements of the class «Shafts». Hunov T., Medvedev D., Polesskiy S.

In this work the analysis of mathematical model of failure rate of the class "Shafts" given in the American NSWC-2011/LE10 standard is submitted.

Данное научное исследование (№ проекта 14-05-0038) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014 г.

Валы являются одними из самых известных компонентов механических систем. Они переносят мощность методом вращательного движения и развитого крутящего момента от одного конца вала к другому.

Проблемы надежности вала включают в себя нагрузки материала, скорость вращения, напряжение сдвига, температуру и окружающую рабочую среду.

Рассмотрим математическую модель интенсивности отказов для класса «Валы», приведенную в американском стандарте NSWC-2011/LE10.

Эксплуатационная интенсивность отказа для вала в среднем сама по себе примерно в 3 раза меньше, чем у механических заглушек и шарикоподшипника. Компоненты, вызывающие скрытые отказы являются либо заглушка, либо подшипник. Таким образом, надежность вала зависит именно от этих элементов.

Модель интенсивности отказов вала можно представить следующим образом:

$$\lambda_{SH} = \lambda_{SH,B} \cdot C_f \cdot C_T \cdot C_{DY} \cdot C_{SC}, \quad (1)$$

где: $\lambda_{SH,B}$ - базовая интенсивность отказов; C_f , C_T , C_{DY} , C_{SC} - поправочные коэффициенты.

Значение базовой интенсивности отказов $\lambda_{SH,B}$ рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{SH,B} = \frac{10^6}{N},$$

где: N - количество циклов до отказа на принятом уровне нагрузок.

C_f - поправочный коэффициент определяется, исходя из шероховатости поверхности вала, которая уточняет базовую интенсивность отказа, зависящая от типа обработки поверхности. В табл. 1 приведены величины и оценки для различных типов обработки поверхностей в сравнении с пределом прочности материала на разрыв.

Таблица 1. Фактор шероховатости поверхности вала

Поверхность	C_f
Отполированная	1,0
Шлифованная	0,89
Горячая прокатка	$0,94 - 0,0046 \cdot T_s + 8,37 \cdot 10^{-6} \cdot (T_s)^2$
Кованная	$0,75 - 4,06 \cdot 10^{-3} \cdot T_s + 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot (T_s)^2$

T_s - предел прочности материала.

Значение коэффициента C_T , учитывающего температуру вала, рассчитывается по формуле:

$$C_T = \frac{460 + T_{AT}}{620} \text{ при } T_{AT} > 160^\circ F \text{ и } C_T = 1,0 \text{ при } T_{AT} \leq 160^\circ F,$$

где: T_{AT} - рабочая температура, $^\circ F$

Значение коэффициента C_{DY} , учитывающего смещение вала, рассчитывается по формуле:

$$C_{DY} = \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I},$$

где: F – сопротивление текучей радиальной среды; l – длина вала; E – модуль эластичности материала вала; I – момент инерции.

Значение коэффициента C_{SC} , учитывающего концентрацию нагрузок на пазы вала, рассчитывается по формуле:

$$C_{DY} = \left(\frac{0,3}{r/d} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{D}{d} \right)^{(1-r/d)},$$

где: r – радиус паза; D – исходный диаметр вала; d – переходный диаметр вала.

В табл. 2 приведены типовые значения множителей для различных пазов вала.

Таблица 2. Фактор концентрации нагрузки для пазов вала

h/D	h/r						
	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0
0,05	1,10	1,45	1,60	2,00	2,05	-	-
0,10	1,00	1,27	1,40	1,70	2,00	2,25	-
0,20	1,00	1,10	1,20	1,31	1,60	1,75	2,00
0,30	1,00	1,10	1,10	1,20	1,35	1,48	1,55

Анализ модели (1) в соответствии с принятой классификацией [4], позволил сформировать следующую классификацию параметров и коэффициентов модели интенсивности отказов для группы «Валы», приведенную в табл. 3.

Таблица 3. Классификация параметров и коэффициентов модели интенсивности отказов

Обозначение	Наименование	Значение	Ед. измерения	Примечание
1	2	3	4	5
Параметры ТУ				
N	Количество циклов до отказа	-	-	ТУ на вал
T_{AT}	Рабочая температура	-	-	ТУ на вал
F	Сопротивление текучей радиальной среды	-	фунт	ТУ на вал
l	Длина вала	-	дюйм	ТУ на вал
E	Модуль эластичности материала	-	фунт/дюйм ²	ТУ на вал
r	Радиус паза	-	дюйм	ТУ на вал
D	Исходный диаметр вала	-	дюйм	ТУ на вал

d	Переходный диаметр вала	-	дюйм	ТУ на вал
Параметры режима применения				
C_f	Шероховатость поверхности вала	-	-	ТЗ на аппаратуру
Эмпирические коэффициенты				
$\lambda_{SH,B}$	Базовая интенсивность отказов вала	Из БД	ч ⁻¹	NSWC-2011/LE10
T_S	Предел прочности	Из БД	фунт/дюйм ²	ТУ на материал

На основании табл. 3 ведется разработка базы данных для этого класса. Пользователю необходимо будет ввести данные из ТЗ и характеристики режима применения. Если в БД нет необходимых данных, то пользователю будет выведено окно, в котором необходимо ввести все данные «вручную».

Литература

1. Маркин А.В. Методы оценки надёжности элементов механики и электромеханики электронных средств на ранних этапах проектирования. / А.В. Маркин, С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. // Надёжность. - 2010. - № 2. - с. 63-70.
2. Полесский С. Обеспечение надёжности НКРТС. / С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. - LAMBERT Academic Publishing, 2011. - 280 с.
3. NSWC-2011/LE10. Handbook of Reliability prediction Procedures for Mechanical Equipment.
4. Zhadnov V. Methods and means of the estimation of indicators of reliability of mechanical and electromechanical elements of devices and systems. / V. Zhadnov. // Reliability: Theory & Applications: e-journal. - 2011. - Vol. 2, No 4. - p. 94-102.
5. Монахов М.А. Разработка базы данных по характеристикам надёжности механических элементов. / М.А. Монахов. // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. V Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез.докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 1 февр. 2013 г. - Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013. [Электронный ресурс]: 1 электрон.опт. диск (CD-ROM).
6. Монахов М.А. Разработка баз данных для расчета интенсивности отказов механических элементов в системе АСОНИКА-К-СЧ. / М.А. Монахов. // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции учащихся и студентов: в 2 ч. - Протвино: Управление образования и науки, 2013. - ч. 2.
7. Монахов М.А. Разработка базы данных программного комплекса АСОНИКА-К для расчета надёжности радиоэлектронной аппаратуры с учетом механических элементов. / М.А. Монахов. // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ НИУ ВШЭ. Тезисы докладов. - М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013.