

3. Жариков А. Д. Растите всех патриотами [Текст] / А. Д. Жариков. – М. : Просвещение, 1980. – 213 с.
4. Замостьянов А. А. Просвещение и патриотизм [Текст] / А. Замостьянов // Народное образование. – 2002. – № 4. – С. 183-186.
5. Исмаилов Ш. И. Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации [Текст] / Ш. И. Исмаилов // Педагогика. – 2004. - № 4. – С. 102-111.
6. Павлов Б.Ф. Воспитание патриотов [Текст] : учеб. пособие для высш. и средн. спец. учеб. завед. / Б. Ф. Павлов, А. Н. Хузиахметов. – Казань: ТаРИХ, 2004. – 319 с.
7. Сообщество «Профобразование» [Электронный ресурс] : Сайт «Профобразование». – 2013. – <http://www.profobrazovanie.org/> (01 нояб. 2014)
8. Федеральный закон «О патриотическом воспитании граждан Российской Федерации» [Электронный ресурс] : Инф.-аналит. ежемесячник «Федеральный патриотический вестник». – 2012. – <http://fpvestnik.ru/zakonodatelstvo/fz-o-patrioticheskom-vospitanii-grazhdan-rossijskojj-federacii-proekt/> (1 нояб. 2014)

УДК 67.05; 539.3

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Т. Х. Хунов, Д. В. Медведев

*Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики, Москва
e-mail: tkkhunov@edu.hse.ru, dvmedvedev_1@edu.hse.ru*

В данной работе рассматриваются модели прогнозирования интенсивности отказов электродвигателей, приведенные в трех справочниках по надежности: NSWC-11, MIL-HDBK 217f и Надежность ЭРИ. В этих справочниках находятся формулы для расчета интенсивности отказов электродвигателей и разбиваются на коэффициенты. Выявляется самая точная модель расчета и по ней производится вычисление интенсивности отказов конкретного электродвигателя.

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

Ключевые слова: электродвигатель, модель прогнозирования, интенсивность отказов, справочник по надежности, наработка на электродвигатель.

Электродвигатель – это электрическая машина, в которой электрическая энергия преобразуется в механическую. На сегодняшний день электродвигатели играют важную роль в нашей жизни. [1] По оценкам специалистов, более 90% промышленного оборудования оснащены электродвигателями. В связи с этим, в современном мире высоких технологий возникает потребность в прогнозировании надежности электродвигателей с максимальной точностью.

Определение надежности деталей, компонентов механизмов и устройств в целом является важнейшей задачей производителей современной техники. градации деталей

по вероятности отказа. Надежность на сегодняшний день вносит существенное влияние, как на технические параметры устройства, так и на дизайн конструкций. [2]

Основным источником прогнозирования показателей надежности электронных средств, электромеханических систем и всего класса технических изделий являются справочники, в которых содержатся статистические данные об отказах, условиях эксплуатации, математические модели прогнозирования, эмпирические коэффициенты и другие факторы, влияющие на надежность.

На данный момент существует около 20 справочников по надежности. Не во всех из этих справочников приведена модель прогнозирования интенсивности отказов. Такая модель приведена только в трех справочниках: NSWC-11, MIL-HDBK 217f и Надежность ЭРИ.

В таблице 1 приведены краткие обзоры этих трех справочников по надежности.

Таблица 1

Краткий обзор справочников: NSWC-11, MIL-HDBK 217f и Надежность ЭРИ.

Название справочника	Аннотация справочника
MIL-HDBK-217f	Стандарт оценки надежности, опубликованный в США министерством обороны в 1991 г. Он содержит оценку надежности для электронных компонентов. Считается, что этот стандарт содержит наиболее полный каталог компонентов и обеспечивает высокий уровень контроля качества. [3]
NSWC-11	Стандарт оценки надежности, впервые выпущенный Naval Surface Warfare Center Carderock Division 31 июля 2007 г. Он содержит оценку надежности для механических компонентов, таких как пружины, прокладки, насосы, клапаны, тормоза и другие. [4]
Надежность ЭРИ	Справочник содержит сведения, предназначенные для использования при расчетах показателей надёжности радиоэлектронной аппаратуры военного назначения в соответствии с требованиями основополагающих нормативных документов комплексов Государственных военных стандартов «Мороз-6» и «Надёжность ВТ». [5]

Уравнение интенсивности отказов электродвигателя, приведенное в справочнике MIL-HDBK-217f имеет вид:

$$\lambda_p = \left(\frac{\lambda_1}{A \cdot \alpha_B} + \frac{\lambda_2}{B \cdot \alpha_W} \right)$$

где:

λ_1 - поправочный коэффициент;

λ_2 - поправочный коэффициент;

α_B - интенсивность отказов подшипника;

α_W - интенсивность отказов обмотки электродвигателя;

A и B – поправочные коэффициенты.

Значение коэффициентов α_B , учитывающего интенсивность отказов подшипника рассчитывается по формуле:

$$\alpha_B = \left(10^{\left(2.534 - \frac{2357}{T_A + 273} \right)} + \frac{1}{10^{\left(20 - \frac{4500}{T_A + 273} \right)} + 300} \right)^{-1}$$

где: T_A - температура окружающей среды.

Значение коэффициента α_W , учитывающего интенсивность отказов обмотки рассчитывается по формуле:

$$\alpha_W = 10^{\left(\frac{2357}{T_A + 273} - 1.83 \right)}$$

где: T_A - температура окружающей среды.

Значения коэффициентов A и B, учитывающих тип двигателя, приведено в таблице 2.

Таблица 2.

Коэффициенты A и B, учитывающие тип двигателя.

Тип электродвигателя	A	B
Электрический	1.9	1.1
Серводвигатель	2.4	1.7
Шаговый	11	5.4

Значения коэффициентов λ_1 и λ_2 приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов λ_1 и λ_2

$\frac{LC}{\alpha_B}$ или $\frac{LC}{\alpha_W}$	λ_1 или λ_2
0 – 0.1	0.13
0.11 – 0.2	0.15
0.21 – 0.3	0.23
0.31 – 0.4	0.31
0.41 – 0.5	0.41
0.51 – 0.6	0.51
0.61 – 0.7	0.61
0.71 – 0.8	0.68
0.81 – 0.9	0.76
> 1.0	1.0

где: LC – ожидаемое время работы.

Обобщенное уравнение интенсивности отказов электродвигателя, приведенное в справочнике «Надежность ЭРИ» имеет вид:

$$\lambda_{\text{Э}} = (\lambda_{\text{б.с.э.эл}} \cdot K_t + \lambda_{\text{б.с.э.м}} \cdot K_{T,n,t}) \cdot K_{\text{Э}}$$

где:

$\lambda_{\text{б.с.э.эл}}$ - базовая среднегрупповая интенсивность электрических отказов на время минимальной наработки $T'_{н.м}$ на электрическую машину (приведено в таблице 3);

$\lambda_{\text{б.с.э.м}}$ - базовая среднегрупповая интенсивность механических отказов на время наработки $T = 500$ ч – для коллекторных и $T = 3000$ ч – для бесколлекторных машин при частоте вращения $n = 2000$ об/мин (приведено в таблице 4);

Таблица 4

Характеристика надежности и справочные данные отдельных групп электродвигателей

Группа изделий	$\lambda_{\text{б.с.э.эл}} \cdot 10^{-6}$	$\lambda_{\text{б.с.э.м}} \cdot 10^{-6}$
Д	0.333	0.149
ДМ	0.17	0.075
ДП	0.21	0.21
ДПМ.Н1,Н2	0.0317	0.049

Значения коэффициента $K_{T,n,t}$ учитывающего влияние времени наработки T , частоты вращения n и температуры окружающей среды t на интенсивность механических отказов электрических машин с коллектор (таблица 5) .

Таблица 5

Значения коэффициента $K_{T,n,t}$

$t, ^\circ\text{C}$	$K_{T,n,t}$ при частоте вращения n , тыс. об/мин									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
25	0.76	0.83	0.85	0.94	0.97	1.03	1.09	1.15	1.21	1.27
40	0.83	0.85	0.94	0.97	1.03	1.12	1.15	1.21	1.27	1.45
50	0.85	0.91	0.97	1.00	1.12	1.18	1.21	1.33	1.42	1.63
60	0.88	0.97	1.00	1.03	1.15	1.24	1.33	1.45	1.63	2.00

Значения коэффициента K_t в зависимости от температуры нагрева изоляции t и электродвигателей с различными классами нагревостойкости изоляции (таблице 6).

Таблица 6

Значения коэффициента K_t

$t, ^\circ\text{C}$	K_t			
	A (105 °C)	B (130°C)	F (155°C)	H (180°C)
30	0.51	0.50	0.80	0.78
40	0.57	0.67	0.84	0.81
50	0.63	0.75	0.89	0.86
60	0.69	0.84	0.93	0.91

Значения коэффициента жесткости условий эксплуатации K_3 для электрических машин (таблица 7).

Таблица 7

Значения коэффициента K_3

Группа изделий	Значения K_3 по группам аппаратуры ГОСТ РВ 20.39.304-98														
	1.1	1.2	1.3-1.10	2.1.1, 2.1.2, 2.3.1, 2.3.2	2.1.3, 2.3.5	2.1.5, 2.3.5	2.2, 2.4, 2.1.4, 2.3.4	3.1	3.2	3.3, 3.4	4.1-4.9 в условиях			4.6	5.1, 5.2
											Запуска	Свободного полета	Брежущего полета		
Электродвигатели	1	2	4	5.5	7.0	8	9	19	15	19	24	8	12	1	

Обобщенное уравнение интенсивности отказов электродвигателя, приведенное в стандарте NSWC-2011 имеет вид:

$$\lambda_M = (\lambda_{M,B} \cdot C_{SF}) + \lambda_{WI} + \lambda_{BS} + \lambda_{ST} + \lambda_{AS} + \lambda_{BE} + \lambda_{GR} + \lambda_C$$

- где:
- λ_M – интенсивность отказов для двигательной системы;
 - $\lambda_{M,B}$ – базовая интенсивность отказов электродвигателя;
 - λ_{WI} – интенсивность отказа обмотки электродвигателя;
 - λ_{BS} – интенсивность отказа щетки;
 - λ_{ST} – интенсивность отказов статора;
 - λ_{AS} – интенсивность отказа вала якоря; [6]
 - λ_{BE} – интенсивность отказа подшипника;
 - λ_{GR} – интенсивность отказа шестерни;
 - λ_C – интенсивность отказа конденсатора (если присутствует);
 - C_{SF} – поправочный коэффициент.

Значение коэффициента C_{SF} , учитывающего условия работы электродвигателя, приведено в табл. 8.

Таблица 8

Условия работы электродвигателя

№ п/п	Условие работы	Описание	C_{SF}
1	Равномерная нагрузка	Непрерывная работа, минимальная разница в нагрузке, нет ударов или вибрации	1.00
2	Минимальные импульсы	Частая остановка и продолжение нагрузки, минимальные удары и вибрация	1.50
3	Средние импульсы	Частая двунаправленная, обратная работа двигателя, средняя смена нагрузки, средние нагрузки и вибрация	2.00
4	Сильные импульсы	Воздействие сильной вибрации, ударная нагрузка, сильная смена нагрузок	3.00

Значение интенсивности отказов $\lambda_{M,B}$, учитывающего тип двигателя, приведено в табл. 9.

Таблица 9

Зависимость интенсивности отказов от типа двигателя

№ п/п	Тип двигателя	$\lambda_{M,B}$
1	Постоянный ток	2.17
2	Постоянный ток, бесщеточный	1.75
3	Переменный ток, однофазный	6.90
4	Переменный ток, многофазный	10.00

Значение интенсивности отказов λ_{wl} , учитывающего тип обмотки электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{wl} = \lambda_{wl,B} \cdot C_T \cdot C_V \cdot C_{alt}$$

где: $\lambda_{wl,B}$ – базовая интенсивность отказов обмотки электродвигателя, которая рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{wl,B} = \frac{1.0 \cdot 10^6}{L_I}$$

где: L_I – ожидаемое время эксплуатации обмотки.

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

$$C_T = 2^{(T_o - 40)/10}$$

где: T_o – температура среды около двигателя работающего при полной нагрузке.

Значение коэффициента C_V , учитывающего различное напряжение источника рассчитывается по формулам:

Для однофазного двигателя:

$$C_V = 2^{10(V_D/V_R)}$$

где: V_D – разница между номинальным и фактическим напряжением; V_R – номинальное напряжение.

Для трехфазного двигателя:

$$C_V = 1 + (0.40 \cdot V_U)^{2.5}$$

где: $V_U = 100 \cdot (\text{наибольшая разница напряжения}) / (\text{среднее напряжение})$.

Значение коэффициента C_{alt} , учитывающего высоту над уровнем моря, определяется как:

Для высоты более 1000 метров:

$$C_{alt} = 1.00 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot (a - 3300)$$

где: a – рабочая высота.

Для высоты менее 1000 метров:

$$C_{alt} = 1.0$$

Проведенный анализ справочников наглядно показывает, что в справочнике NSWС-11 для прогнозирования интенсивности отказов используется на порядок больше коэффициентов, чем в остальных.

Для расчета интенсивности отказов был выбран ДПМ-20-Н1-01. Этот коллекторный электродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов предназначен для применения в качестве силовых двигателей и для привода различных механизмов кратковременного, повторно-кратковременного и непрерывного действия в аппаратуре промышленной автоматики, телемеханики, радиоэлектроники.

Техническое описание электродвигателя ДПМ-20-Н1-01:

Напряжение питания:

- минимальное - 26В;
- номинальное - 29В;
- максимальное - 32В; [7]

Срок службы двигателя – 135000 ч;

$$\lambda_{\text{тy}} = 7,4 \cdot 10^{-6}$$

Температура окружающей среды - 40°С;

Рабочая высота над уровнем моря – 150 м.

Расчет по справочнику NSWС-11:

$$C_T = 2^{(T_o - 40)/10} = 1$$

$$C_V = 2^{10(V_D/V_R)} = 2,05$$

$$C_{alt} = 1,0$$

$$\lambda_{\text{wI,B}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-6}}{L_I} = 3,09 \cdot 10^{-10}$$

$$\lambda_{\text{wI}} = \lambda_{\text{wI,B}} \cdot C_T \cdot C_V \cdot C_{alt} = 1,27 \cdot 10^{-9}$$

$$\lambda_{\text{BS}} = 1,6 \cdot 10^{-6}$$

$$\lambda_{\text{ST}} = 0,84 \cdot 10^{-6}$$

$$\lambda_{\text{AS}} = 0,56 \cdot 10^{-6}$$

$$\lambda_{\text{BE}} = 1,13 \cdot 10^{-6}$$

$$\lambda_{\text{GR}} = 1,00 \cdot 10^{-6}$$

$$\begin{aligned} \lambda_M &= (\lambda_{\text{M,B}} \cdot C_{\text{SF}}) + \lambda_{\text{wI}} + \lambda_{\text{BS}} + \lambda_{\text{ST}} + \lambda_{\text{AS}} + \lambda_{\text{BE}} + \lambda_{\text{GR}} = \\ &= (2,17 \cdot 1,00) \cdot 10^{-6} + 1,27 \cdot 10^{-9} + 1,6 \cdot 10^{-6} + 0,84 \cdot 10^{-6} + \\ &+ 0,56 \cdot 10^{-6} + 1,13 \cdot 10^{-6} + 1,00 \cdot 10^{-6} = 7,30 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

Интенсивность отказов электродвигателя из технического описания равна $7,4 \cdot 10^{-6}$, а по математической модели NSWС-11 интенсивность отказов получается $7,3 \cdot 10^{-6}$.

Подводя итоги, нужно признать, что электродвигатели на сегодняшний день являются неотъемлемой частью промышленного оборудования. В связи с этим, важно с максимальной точностью уметь спрогнозировать интенсивность отказов электродвигателей.

Если стоит задача привести интенсивность отказов электродвигателя к заданной интенсивности, то по математической модели NSWC-11 это будет сделать гораздо легче, так как в этом справочнике используется много параметров, влияющих на надежность электродвигателя.

Список литературы

1. Медведев, Д.В. Исследование моделей интенсивности отказов механических элементов класса «Электродвигатели». / Д.В. Медведев, Т.Х. Хунов, С.Н. Полесский // XX Международная научно-техническая конференция и Российская научная школа молодых ученых и специалистов: тез. докл. – Материалы Международной конференции, Российской научной школы и Форума, 2014. - с. 178-181
2. Абрамешин, А.Е Информационная технология обеспечения надежности электронных средств наземно-космических систем. / А.Е. Абрамешин, В.В. Жаднов, С.Н. Полесский. - Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2012 – с. 13-14.
3. Справочник «MIL-HDBK-217f». – США, 1995.
4. Справочник «NSWC-11». – США, 2011.
5. Справочник «Надежность ЭРИ». – МО РФ, 2006.
6. Хунов, Т.Х. Исследование моделей интенсивности отказов механических элементов класса «Валы». / Т.Х. Хунов, Д.В. Медведев, С.Н. Полесский // XX Международная научно-техническая конференция и Российская научная школа молодых ученых и специалистов: тез. докл. –Материалы Международной конференции, Российской научной школы и Форума, 2014. - с. 182-184
7. [Электронный ресурс]. Технические условия на электродвигатель ДПМ-20-Н1-01. Режим доступа: <http://zapadpribor.com/dpm-20-n1-01/> (дата обращения 18.10.2014).

УДК 025.11

БЛАГОТВОРИТЕЛЬНАЯ РЕСУРСНАЯ ПОДДЕРЖКА ВУЗОВСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ: (ОПЫТ-МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПРИВЛЕЧЕНИЯ РЕСУРСНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ)

Р.А. Чучукалова

Российская международная академия туризма.

Восточно-Сибирский институт туризма

Рассматривается концепция организации благотворительности, основанной на формировании ресурсных банков.. Формирование ассоциаций, ресурсных объединений держателей полнотекстовых ресурсов, позволит наполнить образование доступными ресурсами и проводить целенаправленный обмен ресурсами .