

## Разработка информационно-справочной базы данных для оценки безотказности механических элементов класса «Ременные передачи»

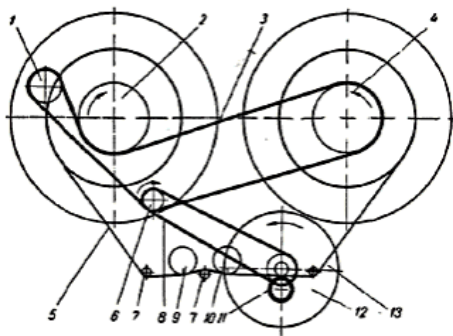
Монахов М.А.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Московский институт электроники и математики  
tamonakhov@edu.hse.ru

**Аннотация.** В докладе рассматриваются модели интенсивностей отказов для ременных и цепных передач, приводится классификация параметров и коэффициентов этих моделей, а также вопросы создания раздела базы данных для модуля расчета надежности данных элементов в системе АСОНИКА-К-СЧ.

**Ключевые слова:** надежность, радиоэлектронная аппаратура, механические элементы, интенсивность отказов, база данных.

В современной радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) используются различные компоненты как электронные, так и механические [Маркин и др., 2010]. Одним из типов механических компонентов, входящих в состав РЭА являются исполнительные механизмы, в состав которых входят ременные или цепные передачи. На рис. 1, в качестве примера, приведен лентопротяжный механизм магнитофона, в котором используются ременные передачи.



1 - натяжной промежуточный ролик; 2 - левый узел; 3 - большая ременная передача; 4 - правый узел; 5 - лента; 6 - электродвигатель со шкивом; 7 - направляющие стойки; 8 - малая ременная передача; 9 - стирающая головка; 10 - универсальная головка; 11 - прижимный ролик; 12 - маховик ведущего узла; 13 - ведущий вал со шкивом

Рисунок 1 - Лентопротяжный механизм магнитофона

Для оценки интенсивности отказов ( $\lambda_{BD}$ ) таких передач можно использовать математические модели, приведенные в американском стандарте NSWC [NSWC, 2011]:

$$\lambda_{BD} = \lambda_{BD,B} \cdot C_{BL} \cdot C_t \cdot C_{PD} \cdot C_{BT} \cdot C_{BV} \cdot C_{SV} + \lambda_P, \quad (1)$$

где:  $\lambda_{BD,B}$  - базовая интенсивность отказов,  $C_{BL}$  - коэффициент, учитывающий нагрузку на ремень,  $C_t$  - коэффициент, учитывающий влияние рабочей температуры ремня,  $C_{PD}$  - коэффициент, учитывающий диаметр шкива,  $C_{BT}$  - коэффициент, учитывающий тип ремня,  $C_{BV}$  - коэффициент, учитывающий периодичность обслуживания,  $C_{SV}$  - коэффициент, учитывающий ударные воздействия на передачу,  $\lambda_P$  - эксплуатационная интенсивность отказов ведущих(ведомых) шкивов.

Значение коэффициента  $C_{BL}$  рассчитывается по формуле:

$$C_{BL} = 0,3 + \left( \frac{hp_0 / hp_D}{1,1} \right)^{4,2}, \quad (2)$$

где:  $hp_0$  - рабочая нагрузка;  $hp_D$  - номинальная нагрузка.

Значение коэффициента  $C_t$  рассчитывается по формуле:

$$C_t = \frac{1}{2^t}, \quad (3)$$

где:  $t = 0$ , при  $T_0$ , равной от -20 до 40 °F;

$t = (40 - T_0) / 55$ , при  $T_0$  больше 40 °F;

( $T_0$  - рабочая температура).

Значение коэффициента  $C_{PD}$  рассчитывается по формуле:

$$C_{PD} = 2 \left( \frac{4,5}{PD} \right)^2, \quad (4)$$

где: PD - диаметр ведомого шкива.

Значение коэффициента  $C_{BT}$  в зависимости от типа ремня определяются по данным табл. 1.

Таблица 1 - Значения коэффициента  $C_{BT}$

Тип ремня	$C_{BT}$
I	2
SPZ	0,8
SPA	0,48
SPB	0,33
SPC	0,18
Y	9,09
Z	4,16
A	0,93
B	0,54
C	0,30
D	0,14

Значение коэффициента  $C_{BV}$  определяются по данным табл. 2.

Таблица 2 - Значения коэффициента  $C_{BV}$

Низкий или нормальный крутящий момент (небольшие электродвигатели переменного тока и др)			Высокий или неравномерный крутящий момент (большие двигатели внутреннего сгорания, однофазные асинхронные двигатели и др.)			Тип нагрузки
Периодическая работа	Разовая работа	Непрерывная работа	Периодическая работа	Разовая работа	Периодическая работа	
1	2	3	4	5	6	7
1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3	Небольшие вентиляторы, центробежные насосы и др.
1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4	Генераторы, станки, роторные насосы

Значение коэффициента  $C_{SV}$  определяются по данным табл. 3.

Таблица 3 - Значения коэффициента  $C_{SV}$

Тип удара	Крутящий момент ведущего шкива	
	Низкий или нормальный крутящий момент	Высокий или неравномерный крутящий момент
1	2	3
Нет ударов	1,1	1,2
Легкие удары	1,2	1,3
Средние удары	1,3	1,5
Тяжелые удары	1,4	1,7

Значения эксплуатационной интенсивности отказов шкивов ( $\lambda_p$ ), приведенные в [NSWC, 2011] равны  $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$  для плоских шкивов и  $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$  для желобчатых шкивов.

Анализ зависимостей (2)-(4), моделей интенсивностей отказов класса «Ременные передачи», а так же других классов механических элементов стандарта NSWC [Zhadnov, 2011], [Жаднов, 2013], [Монахов и др., 2013] позволил предложить следующую классификацию параметров и коэффициентов:

- Параметры ТУ;
- Параметры режима применения;
- Эмпирические коэффициенты;
- Физические константы.

В табл. 4 представлены параметры и коэффициенты математической модели класса «Ременные передачи», сгруппированные в соответствии с предложенной классификацией.

Таблица 4 - Параметры и коэффициенты модели эксплуатационной интенсивности отказов

Обозначение	Наименование	Значение	Ед. измерения	Примечание
1	2	3	4	5
Параметры ТУ (Data Sheet)				
	Типономинал (ТУ) передачи	Из БД	-	ТУ на передачу
$h_{рр}$	Номинальная нагрузка	Из БД	ft-lbs/min	ТУ на передачу
$PD$	Диаметр ведомого шкива	Из БД	in	ТУ на передачу
	Типы ТУ ремней	Из БД	-	ТУ на передачу
Параметры режима применения				
$h_{рo}$	Рабочая нагрузка	-	ft-lbs/min	ТЗ на объект
$T_o$	Рабочая температура	-	°F	ТЗ на объект
	Крутящий момент ведущего шкива	Список из БД	-	ТЗ на объект
	Тип нагрузки	Список из БД	-	ТЗ на объект
	Обслуживание	Список из БД	-	ТЗ на объект
	Тип удара	Список из БД	-	ТЗ на объект
Эмпирические коэффициенты				
$\lambda_{вд,в}$	Базовая интенсивность отказов	Из БД	$ч^{-1}$	NSWC
$\lambda_{р}$	Эксплуатационная интенсивность отказов ведущего и ведомого звена	Из БД	$ч^{-1}$	NSWC

Как следует из табл. 4, параметры и коэффициенты модели (1) либо должны содержаться в базе данных (БД), либо вводиться пользователем. Поэтому все данные, необходимые для расчета, следует разделить на 3 группы [Монахов, 2014]:

- группа e - коэффициенты, содержащиеся в БД;
- группа f - коэффициенты, рассчитывающиеся по формуле;

- группа  $i$  - коэффициенты, которые вводит пользователь.

На основе этого деления построено дерево параметров и коэффициентов модели (1), приведенное на рис. 2.

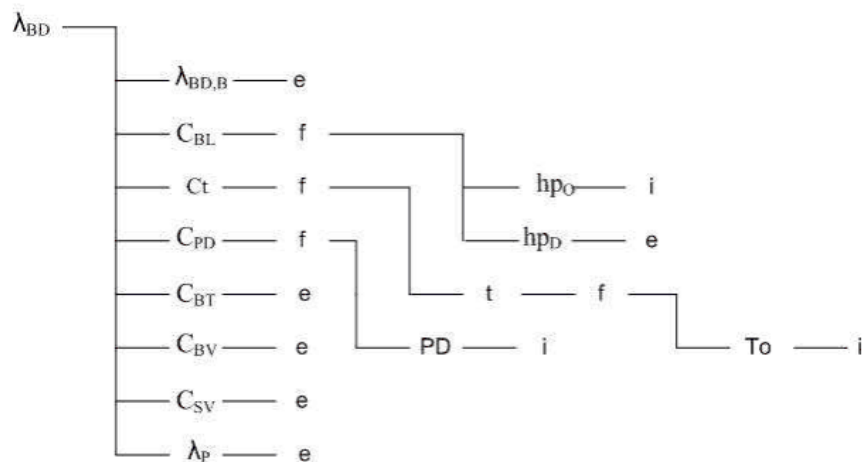


Рисунок 2 - Дерево коэффициентов класса «Ременные передачи»

На основе классификации (см. табл. 4) и дерева коэффициентов (см. рис. 2), создаются таблицы класса для БД. Подробное описание БД системы АСОНИКА-К-СЧ приведено в [Жаднов и др., 2003], [Жаднов и др., 2012]. Для группы «Ременные передачи» к общим таблицам БД добавляются таблицы данного класса. Физическая модель БД с таблицами класса «Ременные передачи», разработанная с помощью CASE-средства построения архитектуры данных «Sybase Power Designer 15» [Нартова, 2012] приведена на рис. 3.

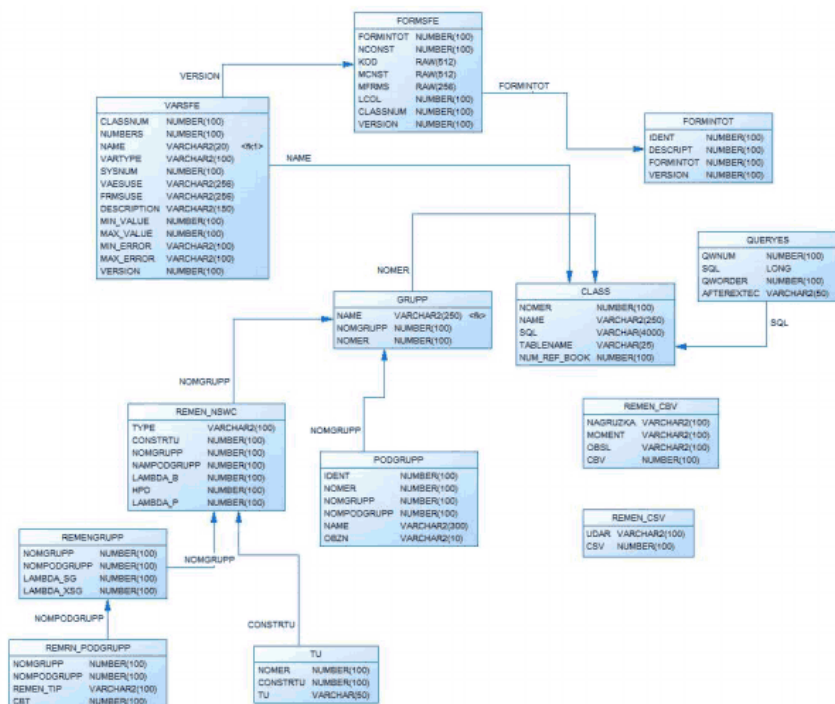


Рисунок 3 - Физическая модель БД с таблицами класса «Ременные передачи»

Данная модель позволяет создать раздел базы данных для модуля расчета показателей безотказности ременных и ценных передач. Отличительной особенностью этой БД является таблица REMEN\_NSWC, (см. рис. 3), которая содержит параметры ТУ для данного класса элементов.

Использование такой БД позволяет снизить объем исходных данных, т.к. в этом случае при расчете необходимо будет ввести только параметры режима применения (см. табл. 4), причем численные значения необходимо задать только для рабочей температуры и рабочей нагрузки, а остальные - выбрать из списков.

### Благодарности

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

## **Список литературы**

- [Маркин и др., 2010] 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.
- [NSWC, 2011] NSWC-2011/LE10. Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment.
- [Zhadnov, V, 2011] 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. - 2011. - Vol. 2, No 4. - p. 94-102.
- [Жаднов, 2013] Жаднов, В.В. Методы и средства оценки показателей надёжности механических и электромеханических элементов приборов и систем. / В.В. Жаднов. // Датчики и системы. 2013. - № 4. - с. 15-20.
- [Монахов и др., 2013] Монахов, М.А. Анализ математической модели расчёта надёжности механических элементов класса «Подшипники». / М.А. Монахов, И.Л. Лушпа, В.М. Фокин. / Радиовысотометрия-2013: Сборник трудов Четвертой Всероссийской научно-технической конференции. // Под ред. А.А. Иофина, Л.И. Пономарева. - Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2013. - с. 352-357.
- [Монахов, 2014] Монахов, М.А. Разработка модели информационно-справочной базы данных для оценки безотказности электронных средств с учетом механических элементов. / М.А. Монахов. // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ НИУ ВШЭ. - М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2014. - с. 68.
- [Жаднов и др., 2003] Жаднов, В.В. Автоматизация проектных исследований надёжности радиоэлектронной аппаратуры: научное издание. / В.В. Жаднов, Ю.Н. Кофанов, Н.В. Малютин, Е.П. Власов, И.В. Жаднов, С.П. Замаев, А.С. Измайлов, К.В. Марченков, С.Н. Полесский, С.А. Пращикин, В.В. Сотников. - М.: Радио и связь, 2003. - 156 с.
- [Жаднов и др., 2012] Жаднов, В.В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств: Учебное пособие. / В.В. Жаднов, А.В. Сарафанов. - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2012. - 464 с.
- [Нартова, 2012] Нартова, А. PowerDesigner 15. Моделирование данных. / А. Нартова. - М.: Лори, 2012. - 480 с.