

применить второй этап для подтверждения точности распознавания эмоций, пола и возраста в системе «Умный дом».

Перспективные задачи исследования в будущем:

1. Дальнейшее исследование распознавания эмоций с применением других схем классификации;
2. Исследование речи различных психотипов человека.

Список литературы

1. Фарид Актахар, Каролина Хане. Рапид Майнер 5: Справочник по операторам: Дортмунд, 2012.
2. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс: 2-е изд., исп.: Пер. с англ. – Москва, 2006.
3. Рязанов В.В. Модели, методы, алгоритмы и архитектура систем распознавания речи: Российская академия наук, вычислительный центр им. А.А. Дородницына: Москва, 2006.
4. Кристофер Виншип, Давид Ж. Хардинг. Общая стратегия для идентификации возраста, периода. Когортные модели: механизмы подхода: Гарвардский университет, 2004.

УДК 621.396.6:396.6.019.3

ПРИМЕНЕНИЕ МАКРОМОДЕЛИ ПРИ РАСЧЕТЕ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ОТКАЗОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

И.Л. Лушпа

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,

Московский институт электроники и математики, Москва

e-mail: illushpa@edu.hse.ru

Рассматриваются основные модели расчета интенсивностей отказов механических элементов, на примере механического класса «Пружины». Представлены результаты анализа математических моделей. Рассмотрена идея использования макромодели расчета интенсивностей отказов. А так же проведен сравнительный анализ расчетов пружины виброизолятора всеми методами.

Ключевые слова: надежность, интенсивность отказов, механические элементы, пружины, макромодель.

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

В инженерной практике для расчетов показателей надежности ЭС используются методики, приведенные в ОСТ 4Г 0.012.242 [1], в котором для расчетов показателей надежности элементов (интенсивностей отказов) рекомендован справочник «Надежность ЭРИ» [2]. Несмотря на то, что справочник называется «Надежность ЭРИ», он содержит не только классы изделий электронной техники (ИЭТ), таких, как

интегральные микросхемы, полупроводниковые приборы и др., но и классы электромеханических элементов (например, машин электрических малой мощности) и чисто механических элементов (соединения, платы с металлизированными сквозными отверстиями и др.).

Однако поскольку номенклатура классов механических элементов (МЭ) ограничена, то при практических расчетах надежности ЭС по методикам ОСТ 4Г 0.012.242 [1] теми МЭ, которые отсутствуют в Справочнике, пренебрегают, полагая их «абсолютно надежными». Вместе с тем в специальной научной и нормативно-технической литературе можно найти математические модели интенсивностей отказов МЭ, например пружин [3], особенности которых будут рассмотрены ниже.

Несмотря на то, что известно большое количество справочной литературы и научно-технической документации, позволяющей с той или иной точностью оценить показатели элементов ЭС, однако методики, приведённые ней, предназначены, в основном, для ИЭТ. Если принять во внимание, что и методики, и модели, и даже их параметры должны быть стандартизованы, то «легитимных» источников не так уж и много [4-6].

Одним из самых распространенных документов является Справочник «Надежность ЭРИ» [2], в котором для сложных изделий, суммарный поток отказов которых складывается из независимых потоков отказов составных частей элементов (например, вращающихся частей и обмоток электродвигателя), математическая модель расчета интенсивности отказов имеет вид:

$$\lambda_e = \sum_{j=1}^m \left(\lambda_{\delta_j} \cdot \prod_{i=1}^{n_j} K_{i,j} \right), \quad (1)$$

где: λ_{δ_j} - исходная (базовая) интенсивность отказов j -го потока отказов; m - количество независимых потоков отказов составных частей ЭРИ; K_{ij} - коэффициент, учитывающий влияние i -го фактора в j -м потоке отказов; n_j - количество факторов, учитываемых в j -ом потоке отказов.

Коэффициенты K_{ij} , входящие в модели (1), условно можно разделить на две группы:

- первая группа коэффициентов является общей для моделей большинства классов, групп и типов элементов (составных частей) и характеризует режимы и условия их эксплуатации, уровень качества производства;
- вторая группа коэффициентов включается в модели конкретных классов (групп) и характеризует зависимость интенсивности их отказов в заданных условиях эксплуатации от конструкционных, функциональных и технологических особенностей элементов (составных частей).

Однако, несмотря на то, что у многих электромеханических элементов (электродвигателей, реле и др.) составными частями являются пружины, моделей интенсивности отказов для них в этом справочнике не приводится. Поэтому использование моделей справочника «Надежность ЭРИ» [2] для оценки интенсивности отказов пружин не представляется возможным.

В отличие от справочника «Надежность ЭРИ» [2], в статье [7] приведена методика расчета показателей безотказности изделий приборостроения, которая содержит математические модели интенсивности отказов механических элементов, таких как подшипники, прокладки, мембранные, пружины, и др. Эта методика основана на материалах препринта [8], в котором использованы модели стандарта РМ 25 446 [9].

Математические модели интенсивности отказов МЭ стандарта РМ 25 446 [9] имеют вид:

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_{i=1}^I a_i , \quad (2)$$

где: λ_0 - базовая интенсивность отказов МЭ вnominalном режиме и нормальных условиях (температура окружающей среды $20 \pm 10^\circ\text{C}$; относительная влажность воздуха $30 \dots 70\%$; атмосферное давление $0,825 \dots 1,06 \cdot 10^5 \text{ Па}$; отсутствие вибрации и ударов); a_i - параметры, учитывающие конструкционные особенности МЭ, условия производства и эксплуатации МЭ.

Формулы для расчета значения a_i имеет вид:

$$a_i = \prod_{j=1}^J K_{ij} ,$$

где: K_{ij} - коэффициенты формулы расчета параметра a_i .

Математическая модель эксплуатационной интенсивности отказов ВПС по стандарту РМ 25 446 [9] имеет вид:

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot K_{11} \cdot K_{12} \cdot K_{13} \cdot K_{14} \cdot K_{15} , \quad (3)$$

где: λ_0 - базовая интенсивность отказов; K_{11} - коэффициент, учитывающий воздействие вибрации; K_{12} - коэффициент, учитывающий воздействие ударов; K_{13} - коэффициент, учитывающий воздействие климата; K_{14} - коэффициент, учитывающий воздействие качества обслуживания; K_{15} - коэффициент, учитывающий воздействие качества изготовления.

Для пружин базовая интенсивность отказов равна $0,05 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$.

Следует отметить, что базовая интенсивность отказов пружин в модели (3) принимается постоянной для всех, независимо от марок, пружин. Значения коэффициентов $K_{11} \dots K_{15}$ зависят от условий эксплуатации и режимов применения пружины, и не зависят от их конструктивно-технологического исполнения и характеристик материалов.

В отличие от в стандарта РМ 25 446 [9], в американском справочнике NSWC-11 [10] приведена методика прогнозирования показателей безотказности механического оборудования, в которой используются, математические модели интенсивности отказов вида:

$$\lambda_p = \lambda_{p,b} \cdot \prod_{i=1}^n C_i , \quad (4)$$

где: $\lambda_{p,b}$ - базовая интенсивность отказов класса, группы или подгруппы МЭ; C_i - параметры, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов в зависимости от различных факторов; n - число параметров.

Математическая модель интенсивности отказов пружины, приведенная в справочнике NSWC-11 [10] имеет вид:

$$\lambda_{sp} = \lambda_{sp,b} \cdot C_G \cdot C_{DW} \cdot C_{DC} \cdot C_N \cdot C_Y \cdot C_L \cdot C_{CS} \cdot C_R \cdot C_M, \quad (5)$$

где: $\lambda_{SP,B}$ - базовая интенсивность отказов пружины; $C_G, C_{DW}, C_N, C_Y, C_L, C_K, C_{CS}, C_R, C_M$ - параметры модели.

Для пружин базовая интенсивность отказов равна $23,8 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$.

Как следует из приведенных выше формул, модель (5) можно применять не только для расчета стандартных пружин, но и для прогнозирования показателей безотказности вновь разрабатываемых (оригинальных) пружин, т.к. она учитывает не только режимы и условия их применения, но и особенности конструкции и характеристики материалов [11, 12].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что модели интенсивности отказов ВПС справочника NSWC-11 [10] по сравнению с моделями стандарта РМ 25 44 [9] более адекватные, т.к. зависят не только от режимов и условий применения, но и от конструкционных параметров пружины, а также физико-химических свойств материалов.

Вместе с тем и те и другие модели предназначены для расчетов интенсивности отказов пружин по среднегрупповым характеристикам, т.к. базовая интенсивность отказов пружин принимается постоянной, независимо от их марки [11, 12].

Принимая во внимание, что номенклатура стандартных и унифицированных пружин достаточно большая, то для снижения трудоемкости расчетов интенсивности отказов таких пружин необходимо разработать модель интенсивности отказов пружин, в которой значение базовой интенсивности отказов относилось к марке конкретной пружины.

Как было показано выше, только модель (5) учитывает конструктивно-технологические параметры пружины. Для построения модели интенсивности отказов стандартных пружин подставим формулы расчета параметров C_i в модель (5). В результате получим:

$$\lambda_{sp} = \lambda_{sp,b} \cdot \left(\frac{G_m}{K_1} \right)^3 \cdot \left(\frac{D_w \cdot K_2}{K_3} \right)^3 \cdot \left(\frac{K_4}{D_c \cdot K_2} \right)^6 \cdot \left(\frac{K_5}{N_A} \right)^3 \cdot \left(\frac{K_6}{T_s} \right)^3 \cdot \left(\frac{L_1 - L_2}{K_7} \right)^3 \cdot \left(\frac{\frac{K_8 \cdot D_c / D_w - K_9}{K_8 \cdot D_c / D_w - K_8} + \frac{K_{10}}{D_c / D_w}}{K_{11}} \right)^3 \cdot C_{cs} \cdot C_r \cdot C_m, \quad (6)$$

где: K_1, K_2, \dots, K_{11} - постоянные коэффициенты.

Проведем классификацию параметров модели (6) по следующим признакам:

- параметры пружины
- параметры режима применения
- эмпирические коэффициенты.

К параметрам пружины относятся параметры, характеризующие конструкцию, материалы, уровень качества, номинальные и предельные нагрузки, а также допустимые диапазоны изменения ВВФ.

К параметрам режима применения относятся параметры, характеризующие нагрузку и уровни ВВФ в режиме применения.

К постоянным коэффициентам относятся эмпирические коэффициенты моделей, физические константы и коэффициенты перевода размерности параметров из одних систем измерений в другие.

Ряд параметров характеризуют саму пружину, и, по сути, относятся к базовой интенсивности отказов данной марки пружины. Тогда базовую интенсивность отказов пружину данной марки можно определить по формуле:

$$\lambda_6 = \lambda_{6,NSWC} \cdot C_G \cdot C_{DW} \cdot C_{DC} \cdot C_N \cdot C_Y \cdot C_L(\Delta L_{NOM}) \cdot C_K \cdot C_{CS}(CR_{NOM}) \cdot C_R \cdot C_M,$$

где: $\lambda_{6,NSWC}$ - базовая интенсивность отказов, приведённая в справочнике NSWC-11 [10], $C_L(\Delta L_{NOM})$ - значение параметра C_L при номинальной нагрузке; $C_{CS}(CR_{NOM})$ - значение параметра C_{CS} при $CR_{NOM} = 0$.

Как следует из таблицы (6), параметры C_R и C_M в модели (6) характеризуют λ_6 . Однако принимая во внимание, что при изготовлении ЭС возможно нанесение дополнительных защитных покрытий, повышающих коррозионную стойкость, а пружины, отвечающие требованиям одних и тех же ТУ (т.е. имеющие одно и то же значение наработки), могут выпускаться производителями с разными уровнями качества производства, то эти коэффициенты в модели целесообразно оставить.

С учетом этих замечаний модель эксплуатационной интенсивности отказов ВПС данной марки будет иметь вид:

$$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot \left(\frac{C_{L,Pa6} \cdot C_{CS,Pa6}}{C_{L,NOM} \cdot C_{CS,NOM}} \right) \cdot C_R \cdot C_M, \quad (7)$$

где: $C_{L,Pa6}$ - значение параметра C_L при рабочей нагрузке; $C_{CS,Pa6}$ - значение параметра C_{CS} для рабочей частоты нагружения CR .

Т.к. значение $C_{CS,NOM}$ для $CR = 0$ равно 0.1, то его можно сократить, помножив на его значение на λ_6 : $\lambda_6 = 0.1 \cdot \lambda_6$.

Тогда значение параметра C_{CS} будет определяться из условия:

$$C_{CS} = \begin{cases} 1,0 & \text{при } CR \leq 30 \frac{\text{цикл}}{\text{мин}} \\ \frac{CR}{30} & \text{при } 30 < CR \leq 300 \frac{\text{цикл}}{\text{мин}} \\ \left(\frac{CR}{139} \right)^3 & \text{при } CR > 300 \frac{\text{цикл}}{\text{мин}} \end{cases}.$$

Кроме того, подставим в (3.2) вместо параметров $C_L(\Delta L_{NOM})$ и $C_{L,Pa6}$ формулы их расчета:

$$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot \left(\frac{\left(\frac{\Delta L_{Pa6}}{1.07} \right)^3}{\left(\frac{\Delta L_{NOM}}{1.07} \right)^3} \right) \cdot C_{CS,Pa6} \cdot C_R \cdot C_M.$$

После несложных преобразований получим:

$$\lambda_{\exists} = \lambda_b \cdot \left(\frac{\Delta L_{\text{раб}}}{\Delta L_{\text{ном}}} \right)^3 \cdot C_{CS,Pa\delta} \cdot C_R \cdot C_M. \quad (8)$$

Значение $\Delta L_{\text{раб}}$ можно получить с помощью программ моделирования механических процессов в конструкциях ЭС.

Модель (8) можно рассматривать как макромодель по отношению к полной модели (6), т.к. в нее в явном виде не входит ряд параметров модели (6).

Следует отметить, что λ_b в модели (8) характеризует базовую интенсивность отказов пружины данной марки, а не среднегрупповую интенсивность отказов пружин, что обеспечивает такую же точность расчетов интенсивности отказов, что и полная модель (6).

Примеры использования моделей (5), (6) и (8) приведены ниже.

Рассмотрим возможность применения моделей (5), (6) и (8) в задачах обеспечения надежности МЭ на примере пружин виброизоляторов типа ДО.

Основные технические характеристики виброизоляторов типа ДО приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Физические характеристики виброизоляторов типа ДО

Марка	Нагрузка Р, кгс		Вертикальная жесткость, Н/см	Высота в свободном состоянии	Осадка пружины под нагрузкой, мм		Число рабочих витков	Масса, кг
	Раб. (P _{раб})	Пред. (P _{пр})			Раб.	Пред.		
12	2	3	4	5	6	7	8	9
ДО 38	12.4	15.5	45	72	27	33,7	5.6	0.3
ДО 39	22.3	27.8	61	92.5	36	45	5.6	0.4
ДО 40	34.6	43.2	81	113	41.7	52	5.6	1
ДО 41	55.0	68.7	124	129	43.4	54	5.6	1
ДО 42	96.1	120.0	165	170	57.2	72	5.6	1.8
ДО 43	168.0	210.0	294.3	192	56	70	5.6	2.4
ДО 44	243.1	303.8	357	226	66.5	83	5.6	3.65
ДО 45	380.2	475.2	441.5	281	84.5	106	5.6	6.45

Таблица 2

Геометрические характеристики виброизоляторов типа ДО

Марка	Размеры, мм						
	A	A ₁	Б	D _{cp}	d	d ₁	d ₂
1	2	3	4	5	6	7	8
ДО 38	100	70	60	30	3	12	8,5
ДО 39	110	80	70	40	4	12	8,5
ДО 40	130	100	90	50	5	12	8,9
ДО 41	130	100	90	54	6	14	10,5
ДО 42	150	120	110	72	8	14	10,5
ДО 43	160	130	120	80	10	14	10,5
ДО 44	180	150	140	96	12	14	10,5
ДО 45	220	180	170	120	15	16	12,5

Примечание:

1. Деформация (осадка пружины) под нагрузкой, отличающейся от указанной в таблице, изменяется пропорционально нагрузке.
2. Для виброизоляторов всех типов общее число витков пружины равно 6,5.
3. Для виброизоляторов ДО-38, ДО-39 $S = 2$ мм, для остальных виброизоляторов $S = 3$ мм, S_1 равно, соответственно, 5 и 10 мм. В резиновых прокладках во всех случаях $d_1 = d_2 + 3,5$ мм.

Материал пружины - сталь марки 65 [12], у которой $G_m = 8.565 \cdot 10^3$ кгс/мм², $T_s = 100$ кгс/мм².

Постановка задачи:

Выбрать виброизолятор типа ДО, интенсивность отказов пружины которого не превышает $4 \cdot 10^{-8}$ ч⁻¹.

Исходные данные:

- Амплитуда ускорения вибрации: 40 м/с²;
- Частота нагружения пружины: 640 циклов/мин;
- Рабочая температура: 50 °C;
- Рабочая нагрузка: 15.5 кгс.

Поскольку ни один из коэффициентов модели (5) не зависит от параметров, приведенных в таблицах 4.1-4.2, то эксплуатационная интенсивность отказов пружин всех марок виброизоляторов ДО будет одинаковой и равной:

$$\lambda_{\exists} = 1,56 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}.$$

Полученное значение λ_{\exists} не удовлетворяет требуемому, однако снизить его путем применения виброизолятора другой марки при использовании модели (5) не возможно.

Значения параметров модели (6) и результаты расчета интенсивности отказов по модели (6) представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчета интенсивности отказов по модели (6)

Марка	Значения параметров модели (2.5)								λ_{\exists}
	$\lambda_5 \cdot 10^6$	C_G	C_{DW}	C_N	C_Y	C_L	C_K	C_{CS}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДО-38	23.8	1.165	2.608	15.62	2.385	1.853	0.828	9.998	$6.292 \cdot 10^{-5}$
ДО-39	23.8	1.165	6.182	15.62	2.385	0.757	0.828	9.998	$1.084 \cdot 10^{-5}$
ДО-40	23.8	1.165	12.07	15.62	2.385	0.332	0.828	9.998	$2.575 \cdot 10^{-6}$
ДО-41	23.8	1.165	20.86	15.62	2.385	0.084	0.866	9.998	$6.988 \cdot 10^{-7}$
ДО-42	23.8	1.165	49.45	15.62	2.385	0.035	0.866	9.998	$1.244 \cdot 10^{-7}$
ДО-43	23.8	1.165	96.59	15.62	2.385	$6.053 \cdot 10^{-3}$	0.916	9.998	$2.341 \cdot 10^{-8}$
ДО-44	23.8	1.165	166.9	15.62	2.385	$3.587 \cdot 10^{-3}$	0.916	9.998	$8.031 \cdot 10^{-9}$
ДО-45	23.8	1.165	325.9	15.62	2.385	$2.076 \cdot 10^{-3}$	0.916	9.998	$2.379 \cdot 10^{-9}$

Примечание:

Значения параметров C_R и C_M принято равным 1.

Как видно из таблицы 3, требуемое значение интенсивности отказов обеспечивают пружины виброизоляторов ДО-43, ДО-44 и ДО-45.

Поскольку у амортизаторов типа ДО осадка пружины изменяется пропорционально нагрузке (см. примечание 1 к таблице 2), то модель (8) можно представить в виде:

$$\lambda_{\mathcal{E}} = \lambda_0 \cdot \left(\frac{G_{\text{раб}}}{G_{\text{ном}}} \right)^3 \cdot C_{CS,Pa\delta} \cdot C_R \cdot C_M, \quad (9)$$

где: $G_{\text{раб}}$ - рабочая нагрузка, $G_{\text{ном}}$ - номинальная нагрузка.

Значения параметров модели (9) и результаты расчета интенсивности отказов по модели (9) представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчета интенсивности отказов по модели (9)

Марка	Значения параметров модели (4.1)				$\lambda_{\mathcal{E}}$
	$\lambda_0 \cdot 10^6$	$G_{\text{ном}}$	$G_{\text{раб}}$	C_{CS}	
1	2	3	4	5	6
ДО-38	3.236	12.4	15.5	9.998	$6.292 \cdot 10^{-5}$
ДО-39	3.236	22.3	15.5	9.998	$1.084 \cdot 10^{-5}$
ДО-40	2.575	34.6	15.5	9.998	$2.575 \cdot 10^{-6}$
ДО-41	3.306	55,0	15.5	9.998	$6.988 \cdot 10^{-7}$
ДО-42	3.194	96,1	15.5	9.998	$1.244 \cdot 10^{-7}$
ДО-43	3.290	168,0	15.5	9.998	$2.341 \cdot 10^{-8}$
ДО-44	3.183	243,1	15.5	9.998	$8.031 \cdot 10^{-9}$
ДО-45	3.349	380,2	15.5	9.998	$2.379 \cdot 10^{-9}$

Как и следовало ожидать, значения интенсивностей отказов для всех марок виброизоляторов, рассчитанных по макромодели (9) совпадают со значениями, полученными по полной модели (6).

Как видно из проведенных расчетов, математическая модель интенсивности отказов стандарта РМ 25 44 [9] малопригодна для решения задач обеспечения надежности, т.к. не учитывает конструктивно-технологических особенностей пружин.

Математическая модель интенсивности отказов справочника NSWC-11 [10] даёт возможность не только рассчитать $\lambda_{\mathcal{E}}$, но и определить значения параметров ВПС, обеспечивающих требуемый уровень $\lambda_{\mathcal{E}}$, поэтому она может использоваться для прогнозирования надежности вновь создаваемых (оригинальных) ВПС.

Макромодели интенсивности отказов (8) и (9) по точности не уступают модели (6) справочника NSWC-11 [10], однако содержат значительно меньше параметров и могут использоваться для расчетов надежности ЭС, в состав которых входят стандартные и унифицированные пружины, а так же при создании баз данных таких пружин для программных средств расчетов надежности ЭС [14].

Список литературы

1. ОСТ 4Г 0.012.242-84. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета показателей надежности.
2. Справочник «Надежность электрорадиоделий». - М.: МО РФ, 2006. - 641 с.

3. Лушпа, И.Л. Обзор основных методик расчета надежности механических элементов радиоизделий. / И.Л. Лушпа. // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ. Материалы конференции. - М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2014. - с. 173.
4. 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.
5. Жаднов, В.В. Методы и средства оценки показателей надежности механических и электромеханических элементов приборов и систем. / В.В. Жаднов. // Датчики и системы. - 2013. - № 4. - с. 15-20.
6. 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.
7. Шавыкин, Н.А. Оценка показателей безотказности механических элементов продукции приборостроения. / Н.А. Шавыкин, Б.П. Петрухин. // Датчики и системы. - 2006. - № 6. - с. 28-35.
8. Шавыкин, Н.А. Методика оценки показателей безотказности технических средств: Препринт. / Н.А. Шавыкин, Б.П. Петрухин, Е.М. Жидомирова. - М.: ИПУ РАН, 1998. - 79 с.
9. РМ 25 446-87. Изделия приборостроения. Методика расчета показателей безотказности. Рекомендуемый материал.
10. NSWC-11. Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment. - USA: CARDEROCDIV, 2011. - 522 p.
11. Лушпа, И.Л. Модели интенсивности отказов виброизоляторов для электронных средств. / И.Л. Лушпа, В.В. Жаднов. // Надежность и качество сложных систем. - 2014. - № 1. - с. 50-57.
12. Lushpa, I.L. The Calculation of the Vibroinsulators' Failure Rate. / I.L. Lushpa. // Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific-practical conference. Part 2. / Ed. by S.U. Uvaysov. - M.: HSE, 2014. - p. 483-489.
13. ГОСТ 14959-79. Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия.
14. Лушпа, И.Л. Обзор современных программных комплексов расчета безотказности механических и электромеханических элементов. / И.Л. Лушпа, М.А. Монахов. // Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции учащихся и студентов. ч. 1. - Протвино: Управление образования и науки г. Протвино, 2014. - с. 128-130.