

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ОТКАЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ КЛАССА «РЕМЕННЫЕ ПЕРЕДАЧИ»

И.Л. Лушпа
НИУ ВШЭ,

Департамент электронной инженерии

Аннотация

Работа посвящена обзору основных методик расчета надежности ременных передач, используемых в различных передаточных механизмах, применяемых в электронных средствах. Рассматривается область применения данных методик, а так же особенности их использования.

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

Введение

Целью исследования является анализ методик расчета надежности ременных передач и разработке рекомендаций по их применению.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Выявить основные методики расчета.
2. Рассмотреть математические модели, применяемые в этих методиках.
3. Найти область применения.
4. Разработать рекомендации.

Методики расчета интенсивностей отказов механических элементов

Сегодня в мире существует большое количество справочной литературы и научно-технической документации, позволяющей с той или иной точностью оценить показатели надежности электронных средств (ЭС) [1, 2]. Эти методики в силу их преимущественной востребованности основаны на оценки надежности ЭС по характеристикам надежности электрорадиоизделий (ЭРИ).

Для информационной поддержки данных по актуальным характеристикам надежности ЭРИ издается и периодически обновляется Справочник «Надежность ЭРИ» [3]. Значительно меньшее внимание уделено механическим элементам (МЭ), хотя целый ряд ЭС включает в себя механические элементы [4].

Это же можно отнести и к программным средствам, используемым для оценки надежности ЭС [5]. Вместе с тем существует и несколько программ расчета показателей надежности МЭ, в которых используются методики расчета, приведенные в стандартах РМ 25 446 [6] и NSWC-11 [7].

Каждая из этих методик имеет свой подход к моделированию интенсивностей отказов МЭ. Коэффициенты моделей стандарта РМ 25 446 [6] основаны на чисто статистических данных, в то время коэффициенты моделей стандарта NSWC-11 [7] представляют собой функции конструкционных характеристик и физико-химических свойств материалов МЭ [8-10].

Математические модели интенсивностей отказов ременных передач

Ременные передачи широко используются в различных механизмах, применяемых в электронных средствах (верньерных, лентопротяжных и др.). Некоторые виды ременных передач представлены на рис. 1.

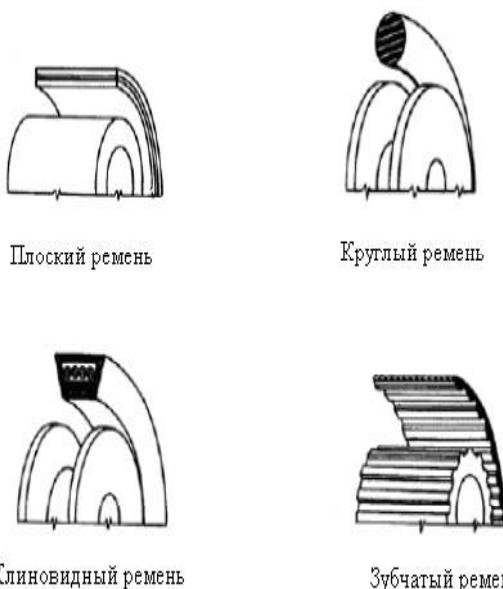


Рис.1. Виды ременных передач.

В справочниках в РМ 25 446 [6] и NSWC-11 [7] приведены математические модели интенсивностей отказов ременных передач. Так интенсивность отказов в РМ 25 446 [6] рассчитывается по модели:

$$\lambda_s = \lambda_b \cdot K_{11} \cdot K_{12} \cdot K_{13} \cdot K_{14} \cdot K_{15} \cdot a_{k1} \cdot a_{k2} \cdot a_{k3} \cdot a_m \quad (1)$$

где: λ_b - интенсивность отказов пружины в номинальном 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); 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; a_{k1} - коэффициент, учитывающий тип передачи; a_{k2} - коэффициент, учитывающий отношение диаметра шкива к толщине ремня; a_{k3} - коэффициент, учитывающий расположение шкивов; a_m - коэффициент нагрузки.

Математическая модель интенсивностей отказов, представленная в NSWC-11 [7], имеет вид:

$$\lambda_s = \lambda_b \cdot C_{BL} \cdot C_t \cdot C_{PD} \cdot C_{BT} \cdot C_{BV} \cdot C_{SV} + \lambda_{II} \quad (2)$$

где: λ_b - базовая интенсивность отказов; C_{BL} - коэффициент, учитывающий нагрузку ремня; C_t - коэффициент, учитывающий рабочую температуру; C_{PD} - коэффициент, учитывающий диаметр шкива; C_{BT} - коэффициент, учитывающий тип ремня; C_{BV} - коэффициент, учитывающий обслуживание ременного привода; C_{SV} - коэффициент, учитывающий среду; λ_{II} - интенсивность отказов ведущего и ведомого шкивов.

Как видно из (1) и (2) коэффициенты математических моделей учитывают примерно одни и те же параметры. Однако в РМ 25 446 [6] зависимости значений поправочных коэффициентов представлены в табличном виде, в то время как в NSWC-11 [7] каждый коэффициент задается формулой, что даёт более точные результаты при расчете коэффициентов, и, следовательно, интенсивностей отказов ременных передач.

В подтверждение этого рассмотрим расчет ременной передачи, применяемой в электрическом генераторе при следующих условиях:

Генератор располагается в лаборатории. Климат - умеренный. Диаметр шкива - 140 мм. Отношение к толщине

ремня - 15. Рабочая мощность, передаваемая ремнем - 3,02 кВт. Номинальная мощность, передаваемая ремнем - 2,52 кВт. Рабочая температура - плюс 40 °С.

Требуемая интенсивность отказов - $1,0 \cdot 10^{-5}$ 1/ч.

Проведем расчет коэффициентов по методике PM 25 446 [6]:

$$\lambda_s = 3,0 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 5,0 \cdot 2,0 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5.$$

При этих значениях эксплуатационная интенсивность отказов равна:

$$\lambda_s = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.} \quad (3)$$

Как видно из (3), полученный результат не соответствует заданным требованиям. При этом значения коэффициентов снизить не представляется возможным, т.к. они не зависят от особенностей ременной передачи, а только от режима ее применения.

Проведем расчет коэффициентов по методике NSWC-11 [7]:

$$\lambda_s = 4,0 \cdot 10^6 \cdot 1,7411,1342,5310,181,0 \cdot 1,1 + 0,8 \cdot 10^6.$$

При этих значениях эксплуатационная интенсивность отказов равна:

$$\lambda_s = 4,039 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Расчет и по данной методике не дал желаемого результата. Оценим влияние коэффициентов модели (2) на интенсивность отказов.

На рис. 2-4 представлены графики зависимости интенсивности отказов от коэффициентов модели (2).

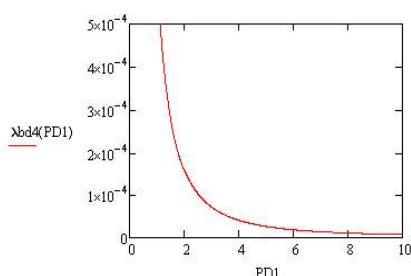


Рис.2. Зависимость интенсивности отказов от диаметра шкива

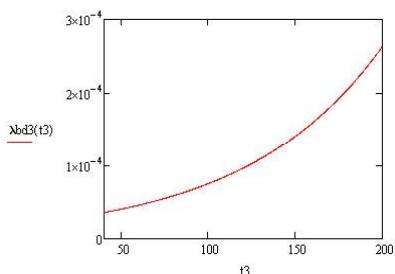


Рис.3. Зависимость интенсивности отказов от рабочей температуры

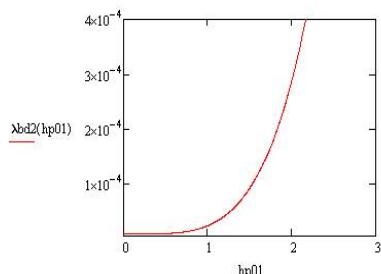


Рис.4. Зависимость интенсивностей отказов от отношения нагрузок

Как видно из рисунков 2-4 наибольшее влияние на интенсивность отказов оказывает диаметр шкива. Поэтому для снижения интенсивности отказов ременной передачи необходимо увеличить диаметр шкива. Так, для диаметра шкива равного 200 мм получаем значения коэффициентов:

$$\lambda_{s2} = 40 \cdot 10^{-6} \cdot 1,7411,1340,5610,181,0 \cdot 1,1 + 0,8 \cdot 10^{-6}$$

При этих значениях эксплуатационная интенсивность отказов равна:

$$\lambda_{s2} = 9,568 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч,} \quad (4)$$

что удовлетворяет необходимым требованиям.

Заключение

Таким образом, модели стандарта PM 25 446 [6] позволяют довольно просто оценить интенсивности отказов ременных передач. Однако если результаты окажутся не удовлетворительными, то следует применять модели NSWC-11 [7], которые позволяют не только использовать актуальную информацию о характеристиках надежности МЭ [11], но и обосновать необходимые изменения конструкционных параметров и режимов их применения, направленных на обеспечения требуемого уровня безотказности и ременных передач, и ЭС в целом [12].

Список литературы:

- Жаднов, В.В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств: Учебное пособие. / В.В. Жаднов, А.В. Сарафанов. - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2004. - 464 с.
- Жаднов, В. Информационная технология обеспечения надёжности сложных электронных средств военного и специального назначения. / В. Жаднов, Д. Авдеев, В. Кулгин. // Компоненты и технологии. - 2011. - № 6. - с. 168-174.
- Справочник Надёжность ЭРИ. - М.: МОРФ, 2006.
- Лушпа, И.Л. Модели интенсивности отказов виброзоляторов для электронных средств. / И.Л. Лушпа, В.В. Жаднов. // Надёжность и качество сложных систем. - 2014. - № 1. - с. 50-57.
- Строганов, А. Обзор программных комплексов по расчету надёжности сложных технических систем. / А. Строганов, В. Жаднов, С. Полесский. // Компоненты и технологии. - 2007. - № 5. - с. 74-81.
- PM 25 446-87. Изделия приборостроения. Методика расчета показателей безотказности. Рекомендуемый материал.
- NSWC-2011/LE10. Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment.
- 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.
- 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.
- 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, В.В. Информационные технологии в прогнозировании надёжности электронных средств. / В.В. Жаднов. // Информационные технологии в проектировании и производстве. - 2012. - № 1. - с. 20-25.
- Жаднов, В.В. Особенности конструирования бортовой космической аппаратуры: учеб. пособие. / В.В. Жаднов, Н.К. Юрков. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. - 112 с.