

## АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИИ СТАНДАРТА NSWC-11 ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

к.т.н., доцент Жаднов В.В.  
ВШЭ, г. Москва

Приводятся результаты анализа методологии прогнозирования надёжности механического оборудования. Обосновывается возможность и необходимость создания базы данных по характеристикам надёжности механических элементов.

### ANALYSIS OF THE STANDARD NSWC-11 METHODOLOGY OF RELIABILITY PREDICTION MECHANICAL EQUIPMENT

Zhadnov V.

In this work the process of results of the analysis of methodology of reliability prediction mechanical equipment. The author proves the possibility and necessity of creation of databases on the characteristics of reliability of mechanical elements.

Данное научное исследование (номер проекта 14-05- 0038) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014 г. Современная радиоэлектронная аппаратура, наряду с электронными устройствами включает в себя и различные механические системы (приводы антенн, системы охлаждения стоек и др.). Очевидно, что отказ таких систем может привести не только к снижению безотказности (в частности, к повышению интенсивности отказов), но и к отказу аппаратуры в целом. Однако, при расчетной оценке показателей безотказности такой аппаратуры, в соответствии с принятыми в настоящее время методиками, основанными на данных справочника «Надежность ЭРИ» [1], надёжность механического оборудования не учитывается (принимается допущение, что оно «абсолютно надёжное»). Подтверждение этого допущения основывается на прочностных расчетах конструкций и элементов механического оборудования.

Однако, как свидетельствуют результаты исследований, проведенных в России и за рубежом, даже подтверждение расчетами и испытаниями запасов прочности у механических элементов (МЭ) не гарантирует их «абсолютную надёжность» в течение срока службы. Это подтверждается и тем, что в ранних изданиях отечественных справочников по надёжности, наряду с данными по надёжности электронной компонентной базы (ЭКБ) приводились и данные по надёжности МЭ [2]. Вместе с тем, в последних редакциях справочника «Надежность ЭРИ» таких данных нет, а в немногочисленных отечественных публикациях [3, 4] приводятся данные, полностью повторяющие [2].

Тем не менее, для автоматизации расчетов нами была создана система АСНИКА-К-МЭ [5, 6], в которой были реализованы методы расчета характеристик надёжности МЭ в соответствии с [3, 4]. Однако она оказалась не востребованной, т.к. математические модели интенсивностей отказов не позволяли решать задачи обеспечения надёжности ввиду их низкой информативности в части зависимостей от режимов применения элементов, физико-химических свойств материалов, из которых они изготовлены, и др.

В то же время в состав ряда зарубежных программных средств расчета надёжности включались модули прогнозирования надёжности механического оборудования, реализующие методологию стандарта NSWC [7], разработанного и постоянно обновляемого Naval Surface Warfare Center (NSWC) Кардерокского дивизиона ВМС США. Не только сам стандарт, но и модули NSWC ряда программ можно найти в открытом доступе, что позволяет на практике оценить возможность использования этой методологии для решения практических задач.

Действительно, модели интенсивностей отказов МЭ стандарта NSWC, более полно учитывающие особенности режимов применения и конструктивно-технологического исполнения, дают возможность обосновать мероприятия, направленные на повышение надежности [8]. Но при этом, большой объем исходных данных, содержащихся в различных документах (ТЗ, ГОСТы, ТУ, справочники по материалам и др.), существенно повышает как трудоемкость этих расчетов, так и вероятность ошибок в исходных данных. Однако, ни в упоминавшихся модулях NSWC, ни в специализированной программе MechReal (разработка NSWC) базы данных по МЭ и материалам отсутствуют, в отличие от модулей прогнозирования безотказности электронного оборудования, основу которых как раз и составляют базы данных по характеристикам надежности ЭКБ [5, 6].

При этом отсутствие БД по МЭ и материалам не просто «лень» разработчиков программного обеспечения, а решение, основанное на методологии стандарта NSWC, в котором говорится, что общепринятые методы определения надежности электронного оборудования, опирающиеся на базы данных, созданных по стандартизированным документам (таких как MIL-STD-756 и MIL-HDBK-217), не могут применяться для механического оборудования из-за большого разброса значений интенсивности отказов даже у МЭ, относящихся к одному и тому же классу (группе, подгруппе).

В обоснование приводятся следующие доводы:

- многие МЭ (клапаны и др.) могут выполнять несколько функций. Например, гидравлический клапан может иметь как ручной, так и автоматический механизм отключения;
- интенсивности отказов МЭ обычно не являются постоянными во времени отказов из-за износа, усталости металла и др.;
- надежность МЭ более чувствительна к нагрузке, режиму управления и условиям эксплуатации, чем надежность ЭКБ;
- определение видов и причин отказов для МЭ зависит от условий их эксплуатации. Например, если причиной отказа является чрезмерный шум, утечка и др., то ее нельзя распространить на все типы МЭ.

Однако, при желании эти же доводы можно применить и ЭКБ, но несмотря на это справочники по характеристикам надежности ЭКБ выпускаются и используются для расчетов надежности электронного оборудования.

Главным аргументом в пользу нецелесообразности создания баз данных по характеристикам надежности МЭ является наличие существенной временной зависимости их интенсивностей отказов. В подтверждение этого в стандарте NSWC [7] приведены зависимости клапана и его элементов от числа операций (см. рис. 1).

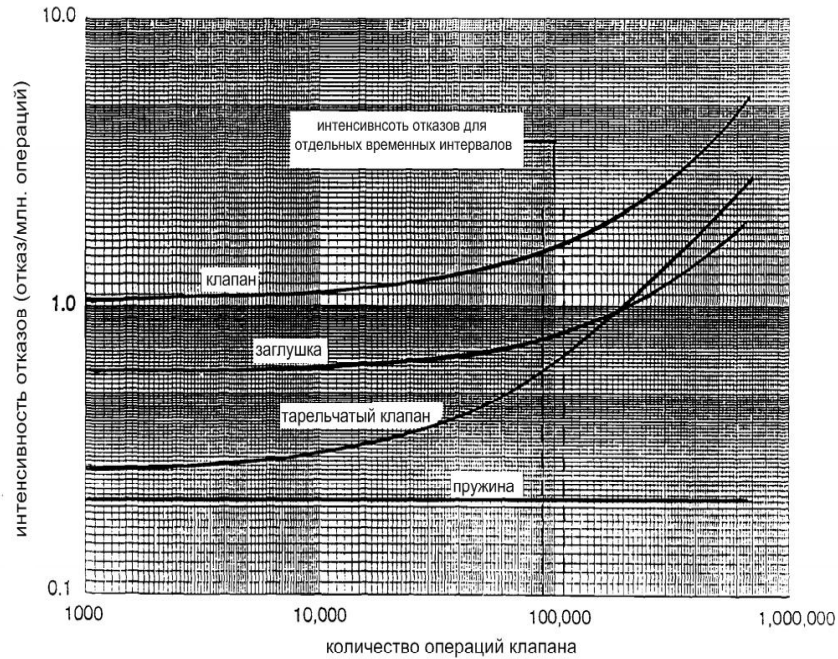


Рис. 1 - Зависимости интенсивностей отказов клапана и его составных частей

Вместе с тем, ни одна из математических моделей интенсивностей отказов МЭ, приведенных в стандарте NSWC [7] не является функцией времени. Влияние времени работы во всех моделях учитывается косвенно, через значения их коэффициентов и параметров (шероховатость и др.). Тем не менее, если известны временные зависимости параметров и коэффициентов, то с использованием моделей стандарта NSWC [7] можно получить и временные зависимости интенсивностей отказов -  $\lambda_p(t)$ . Правда, это существенно усложнит расчеты показателей надежности, т.к., например, вероятность безотказной работы ( $P(t)$ ) придется вычислять по формуле:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda_p(t) dt}.$$

Другой вопрос, насколько это необходимо на ранних этапах проектирования, где оценивается принципиальная возможность создания механического оборудования с требуемыми показателями надежности. На этом этапе обычно ограничиваются получением «нижних» оценок показателей надежности (т.е. максимальных интенсивностей отказов). Для расчета таких оценок можно использовать модели стандарта NSWC [7] при соответствующих значениях их параметров и коэффициентов.

Естественно, что в этом случае должны быть заданы временные зависимости параметров и коэффициентов. Однако в этом нет никакого противоречия методологии стандарта NSWC [7], т.к. для ряда параметров и коэффициентов в нем приводятся их температурные и др. зависимости.

Кроме того, для повышения точности оценки интенсивностей отказов МЭ можно воспользоваться известной моделью для «сеансного» режима работы:

$$\lambda_c = \frac{\lambda_1 t_1 + \lambda_2 t_2 + \dots + \lambda_N t_N}{t_1 + t_2 + \dots + t_N}, \quad (1)$$

где  $t_1, t_2, \dots, t_N$  - временные интервалы, в пределах которых  $\lambda_p(t)$  принимается постоянной величиной.

Следует отметить, что использование (1) так же укладывается в методологию стандарта NSWC [7], в которой рекомендуется разбивать срок службы на интервалы вычислять  $\lambda_p$  для каждого из них.

Таким образом, создание базы данных по характеристикам надежности МЭ и материалов не только возможно, но и необходимо, что позволит не только существенно снизить трудоемкость прогнозирования надежности механического оборудования, но и обеспечить воспроизводимость результатов.

#### Литература

1. Справочник «Надежность ЭРИ». - М.: МО РФ, 2006.
2. РМ 25 446-87. Изделия приборостроения. Методика расчета показателей безотказности. Рекомендуемый материал.
3. Методика оценки показателей безотказности технических средств. / Н.А. Шавыкин, Б.П. Петрухин, Е.М. Жидомирова. // М.: ИПУ РАН, 1998. - 79 с.
4. Шавыкин, Н.А. Оценка показателей безотказности механических элементов продукции приборостроения. / Н.А. Шавыкин, Б.П. Петрухин. // Датчики и системы. - 2006. - № 6, - с. 28-35.
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. NSWC-11/LE10. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment. - CARDEROCKDIV, 2011.
8. 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.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ КОНТАКТНЫМ И БЕСКОНТАКТНЫМ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

к.т.н., доцент Сурин В.И., Каштанова Т.С., Соловьев Т.О.  
НИЯУ МИФИ, г. Москва

В представленной работе рассмотрены результаты моделирования поверхности материалов, находящихся под нагрузкой, на основе электрофизических методов контактной и бесконтактной сканирующей потенциометрии. Процессы динамической шероховатости поверхности рассматриваются с позиций теории деформационного упрочнения металлов на мезоскопическом уровне. Приводятся результаты влияния динамической шероховатости на ток