

## Список литературы

1. MIL-HDBK-217. Reliability Prediction of Electronic Equipment.
2. Артюхова, М.А. Оценка безотказности соленоидов / М.А. Артюхова // Науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ: материалы конф. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2014. – С. 192.
3. NSWC-11. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment.
4. Маркин, А.В. Методы оценки надежности элементов механики и электромеханики электронных средств на ранних этапах проектирования / А.В. Маркин, С.Н. Полесский, В.В. Жаднов // Надежность. – 2010. – № 2. – С. 63–70.
5. 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.
6. Жаднов, В.В. Методы и средства оценки показателей надежности механических и электромеханических приборов и систем / В.В. Жаднов // Датчики и системы. – 2013. – № 4. – С. 15–20.

**ПРОЕКТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ БОРТОВОЙ  
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ  
С УЧЁТОМ УСЛОВИЙ ГЕРМЕТИЗАЦИИ**

Д. О. Карчевский, С. Н. Полесский (научный руководитель)

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20  
E-mail: dokarchevskiy\_1@edu.hse.ru*

Для наиболее эффективной работы бортовой радиоэлектронной аппаратуры, необходима герметизация. Интенсивность отказов прокладки напрямую влияет на вероятность успешной работы устройства в герметичных условиях. Интенсивность отказов прокладки в свою очередь зависит от многих факторов.

Данное научное исследование (№ проекта 14-05-0038) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014/2015 гг. В нашей области надёжностью является свойство радиоэлектронной аппаратуры сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. В бортовой радиоэлектронной аппаратуре согласно ГОСТ РВ 20.39.304.98 [1] пятый класс аппаратуры подразделяется на четыре группы:

- 5.1 – условия, пригодные для человека, например, это относится к оборудованию, расположенному на МКС, коэффициент надёжности аппаратуры в этих условиях равен 1.
- 5.2 – условия, при которых аппаратура находится в герметичной полости, заполненной газом, коэффициент надёжности аналогичен предыдущему – 1.
- 5.3 – условия, в которых отсутствует полная герметизация, что может привести к некорректной работе оборудования. Коэффициент надёжности увеличивается в четыре раза по сравнению с вышеприведёнными.
- 5.4 – условия отсутствия защиты от попадания космического мусора на оборудование.

Коэффициент может колебаться от восьми до тридцати двух(!).

От этого коэффициента зависит надёжность каждой детали, а значит и надёжность всего аппарата в целом. Причём, так как аппарат зачастую состоит из множества деталей, коэффициент надёжности каждой из которых зависит от её герметичности, то можно представить, насколько сильно изменится надёжность и вероятность безотказной работы всего

прибора, при его разгерметизации. Вероятность безотказной работы устройства можно посчитать по формуле:

$$P_{БРЭА} = P_{ЭЧ}(t) * P_{МЧ}(t), \quad (1)$$

где  $P_{БРЭА}$  – вероятность безотказной работы за время  $t$ ;  $P_{ЭЧ}(t)$  – вероятность безотказной работы электронной части аппаратуры;  $P_{МЧ}(t)$  – вероятность безотказной работы механической части аппаратуры.

Вероятность безотказной работы устройства, как видно из формулы (1), напрямую зависит от вероятностей безотказной работы электронной и механической частей аппарата, которые можно высчитать из интенсивности отказов прибора в режиме эксплуатации:

$$P_{МЧ} = e^{-\lambda_{МЧ} * t}, \quad (2)$$

где  $\lambda_{МЧ}$  – интенсивность отказов механической части аппаратуры.

$$P_{ЭЧ} = e^{-\lambda_{ЭЧ} * t}, \quad (3)$$

где  $\lambda_{ЭЧ}$  – интенсивность отказов механической части аппаратуры.

$$P_{БРЭА} = e^{-\lambda_{БРЭА} * t}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{БРЭА}$  – интенсивность отказов механической части аппаратуры.

Если развернуть формулу (1) с помощью (2,3,4), то можно вывести:

$$e^{-\lambda_{БРЭА} * t} = e^{-\lambda_{МЧ} * t} * e^{-\lambda_{ЭЧ} * t};$$

$$\lambda_{БРЭА} = \lambda_{ЭЧ} + \lambda_{МЧ}.$$

$\lambda_{ЭЧ}$  можно высчитать с помощью российского справочника «Надёжность электрорадиоизделий» [2], а для подсчёта  $\lambda_{МЧ}$ , необходимо посчитать интенсивность отказа прокладки, обеспечивающей герметизацию. Для этих расчётов необходимо адаптировать англоязычный справочник NSWC-11 [3], чья метрическая система не позволяет использовать его данные в России без перевода в принятые у нас единицы измерения.  $\lambda_{МЧ}$  можно найти по следующей формуле:

$$\lambda_{МЧ} = \sum_{i=0}^n \lambda_i + \lambda_G, \quad (5)$$

где  $\sum_{i=0}^n \lambda_i$  – сумма интенсивностей отказов составляющих прибора;  $\lambda_G$  – интенсивность отказа прокладки.

Согласно этому справочнику  $\lambda_G$  зависит от базовой интенсивности отказов прибора и различных коэффициентов, связанных с условиями эксплуатации, как это и следует из нижеприведённой формулы:

$$\lambda_G = \lambda_{G,B} * \prod_{i=1}^n C_i, \quad (6)$$

где  $\lambda_{G,B}$  – базовый коэффициент отказа прокладки;  $C$  – коэффициенты, зависящие от условий эксплуатации, а именно:

$C_P$  – модификатор, зависящий от давления газа;

$C_Q$  – модификатор, зависящий от допустимой утечки;

$C_{PL}$  – модификатор, зависящий от размера прокладки;

$C_H$  – модификатор, зависящий от твёрдости прокладки и допустимого нажима на неё.

$C_F$  – модификатор, зависящий от гладкости поверхности;

$C_V$  – модификатор, зависящий от вязкости жидкости;

$C_T$  – модификатор, зависящий от температуры;

$C_N$  – модификатор, зависящий от загрязняющих веществ.

Теперь мы можем построить математическую модель  $\lambda_G$  (см. рис. 1).

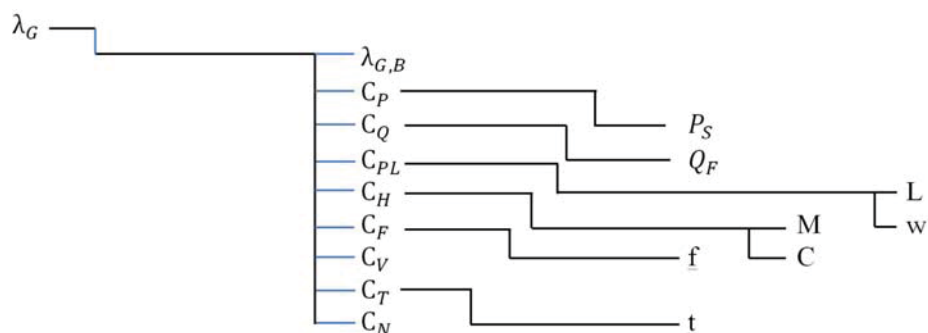


Рис. 1. Математическая модель интенсивности отказов прокладки:  $P_S$  – давление газа;  $Q_F$  – допустимая утечка;  $L$  – длина прокладки;  $w$  – минимальная ширина прокладки;  $M$  – твёрдость прокладки;  $C$  – допустимый нажим на прокладку;  $f$  – гладкость поверхности;  $t$  – температура

Коэффициент  $C_Q$  зависит от допустимой утечки газа согласно нижеприведённым формулам:

$$\begin{cases} C_Q = \frac{0,1502147533 * 10^{-7}}{x}, \text{ при } x > x_0; \\ C_Q = 4,2 - 0,289252547 * 10^9 * x, \text{ в ином случае;} \end{cases}$$

На рис. 2 показан график зависимости величины коэффициента утечки от размера допустимой утечки.

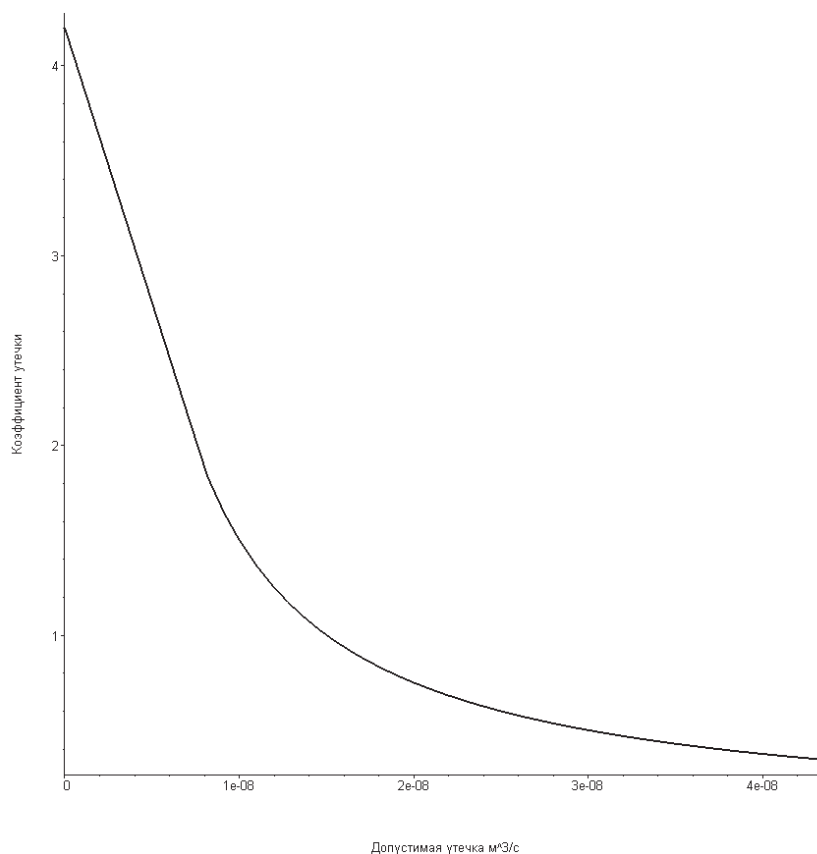


Рис. 2. График зависимости  $C_Q$  от  $Q_F$

Отсюда можно вычислить прямую зависимость  $\lambda_G$  от  $Q_F$ . Для этого я принял значения всех остальных коэффициентов равными одному, базовый коэффициент отказа прокладки был взят мною из справочника. Этот график можно увидеть на рис. 3.

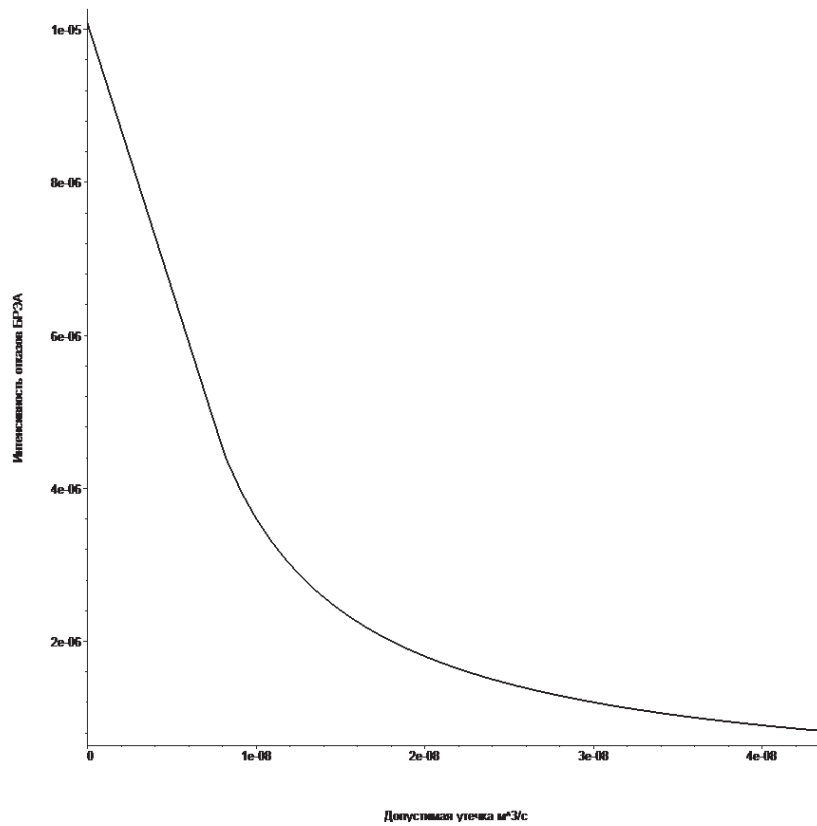


Рис. 3. График зависимости  $\lambda_G$  от  $Q_F$

На рис. 4 показан график прямой зависимости интенсивности отказов прокладки от давления газа.

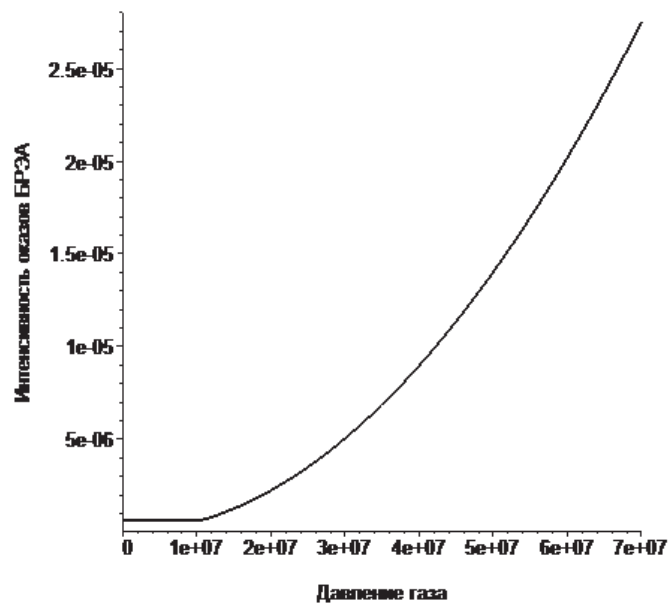


Рис. 4. График зависимости  $\lambda_G$  от  $P_S$

Как видно из математической модели (см. рис. 1), на интенсивность отказов прокладки, а как следствие и на интенсивность отказов радиоэлектронного оборудования влияет множество факторов, каждый из которых влияет на результат в значительной степени. Поэтому сейчас важно и актуально считать надёжность, не забывая и о герметичности.

### Список литературы

1. ГОСТ РВ 20.39.304-98 Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам.
2. Справочник «Надёжность электрорадиоизделий».
3. NSWC-11. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment.

## ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ НАСОСОВ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ НАДЕЖНОСТЬ

П. А. Цыганов, К. А. Богачев (научный руководитель)

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20  
E-mail: patsyganov@edu.hse.ru*

Рассматривается модель интенсивности отказов насосов. Оценивается влияние эффектов кавитации и вихревания, а также различных конструктивных факторов на работу насоса и его надёжность.

Данное научное исследование (№14-05-0038) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014 г. Насосы – один из наиболее часто используемых механических компонентов в технических устройствах, которые в значительной степени определяют их надёжность [1]. В настоящее время в системах охлаждения радиоаппаратуры применяются огромное количество насосов разнообразных типов. Такое разнообразие приводит к необходимости рассмотрения многочисленных методов расчета их показателей надёжности [2, 3].

Важным параметром этого класса устройств является интенсивность отказов насоса ( $\lambda_n$ ), которая рассчитывается по формуле [4]:

$$\lambda_n = \lambda_y + \lambda_b + \lambda_{\text{п}} + \lambda_k + \lambda_{\text{рч}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_y$  – интенсивность отказов всех уплотнителей;  $\lambda_b$  – интенсивность отказов вала насоса;  $\lambda_{\text{п}}$  – интенсивность отказов подшипников;  $\lambda_k$  – интенсивность отказов корпуса насоса;  $\lambda_{\text{рч}}$  – интенсивность отказов рабочей части.

Вал насоса имеет очень высокую надёжность в отличие от других компонентов насоса. Интенсивность отказов вала насоса в среднем в 8 раз ниже интенсивности отказов уплотнителей и в 3 раза ниже, чем у шарикового подшипника. Возможность разрушения вала насоса независимо от других компонентов насоса весьма мала. Тем не менее, вал насоса подвержен серьезным нагрузкам и необходимо подбирать правильный режим работы насоса, чтобы не допустить высоких нагрузок, которые могут вызвать смещение, деформацию или прогиб вала и его повышенный износ. Деформация вала насоса возможна при потоке жидкости, отличном от номинального. Если поток жидкости не оптимален для данного насоса, то крыльчатка насоса испытывает повышенную нагрузку. Из-за разницы давлений в рабочей области возникает дисбаланс и отклонение вала.