

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ СВЯЗИ

<sup>1</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи», г. Минск, Республика Беларусь

Влияние циклического режима работы на надежность элементов и аппаратуры исследовано недостаточно [1]. Причиной отказов аппаратуры при включениях и выключениях является то, что во время переходных процессов в элементах ЭУ возникают электрические токи и напряжения, превышающие (хотя и кратковременно) в десятки раз соответствующие значения токов и напряжений в установившемся (после включения) рабочем режиме. Коэффициенты электрической нагрузки элементов  $K_n$  в этом случае могут принимать значения заметно большие единицы.

Увеличение токов и напряжений в переходных режимах приводит к двум основным типам характерных отказов:

- короткому замыканию в результате электрического пробоя;
- обрыву элементов по причине перегорания или теплового пробоя.

За основу разработки метода определения эксплуатационной надежности элементов при циклическом режиме работы взяты источники [1–3].

Для эксплуатационной интенсивности отказов  $\lambda$ , с учетом наработки и циклического режима работы справедлива примерная формула [1]

$$\lambda_{нар} \approx \lambda_{нар} + \Lambda_{ц} F_{ц}, \quad (1)$$

где  $\Lambda_{ц}$  – интенсивность отказов на цикл «включено–выключено», размерность этой величины 1/цикл;  $F_{ц}$  – частота циклов включения–выключения за один час в течение суммарной наработки  $t_{нар}$ , размерность  $F_{ц}$  – цикл/ч.

Экспериментальная зависимость изменения отношения интенсивности отказов при циклическом режиме работы  $\lambda_{ц} = \Lambda_{ц} \cdot F_{ц}$  (1/ч) к интенсивности отказов при непрерывном режиме  $\lambda_{нар}$  (1/ч) в зависимости от частоты включения  $F_{ц}$  (цикл/ч) имеет вид, показанный на рисунке 1 [1, 2].

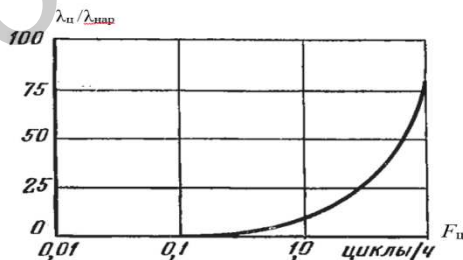


Рисунок 1 – Экспериментальная зависимость отношения  $\lambda_{ц} / \lambda_{нар}$  от частоты включения  $F_{ц}$

В качестве модели, аппроксимирующей экспериментальную зависимость (см. рисунок 1), предложено выражение

$$\frac{\lambda_{ц}}{\lambda_{нар}} = A \left[ \ln \left( F_{ц}^{0,47} + 1 \right) \right]^3, \quad (2)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от группы аппаратуры, в которой работает элемент;  $F_{ц}$  – частота включения, размерность цикл на один час наработки.

Коэффициент  $A$  будем называть коэффициентом цикличности. Чем выше значение  $A$ , тем сильнее сказывается циклический режим работы на общей интенсивности отказов элемента.

Для графика, приведенного на рисунке 1, значение  $A = 30$ , что соответствует случаю эксплуатации элементов в составе авиационной аппаратуры. Значение коэффициента  $A$  для различных групп аппаратуры найдено с учетом следующего [1–4]:

- отношение  $C_{ц} = \Lambda_{ц} / \lambda_{нар}$  (ч/цикл) принимается примерно постоянным при  $F_{ц} = 0 \dots 1,3$  цикл/ч;
- для корабельной аппаратуры  $C_{ц} \approx 8$  ч/цикл, для авиационной аппаратуры –  $C_{ц} \approx 10$  ч/цикл [1, 2];
- для стационарной аппаратуры, где вибрации отсутствуют, значение  $C_{ц}$  заметно ниже (в какой степени ниже, в источниках [1, 2] не сообщается);
- приведенный на рисунке 1 график и указанные значения  $C_{ц}$  соответствуют случаю аппаратуры на электронных лампах [4];
- для современных элементов и аппаратуры цикличность работы становится основной причиной отказов при частоте циклов  $F_{ц} \geq 1$  цикл/ч.

Из анализа данных, приведенных в отечественной и зарубежной технической литературе, методом экстраполяции были получены значения  $C_{ц}$ , а затем коэффициента цикличности  $A$ , используемого в модели (2). При этом приняты во внимание и усредненные значения коэффициентов эксплуатации  $K_э$ , приводимые в справочниках и стандартах по расчету надежности электронного оборудования России, США и Китая.

Экстраполированные значения коэффициента цикличности  $A$  приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экстраполированное значение коэффициента  $A$  модели (2)

Группа аппаратуры	Усредненное значение коэффициента эксплуатации	Экстраполированное значение коэффициента $C_{ц}$ , ч/цикл	Экстраполированное значение коэффициента $A$ модели (2)
1. Стационарные условия (лабораторные)	1	1,04	3,12
2. Стационарные условия (на промышленных предприятиях)	1,2	1,12	3,36
3. Стационарные условия (открытый воздух)	2	1,36	4,08
4. Переносная, стационарная условия	3	1,48	4,44
5. Мобильная (носимая)	4	2,5	7,5
6. Мобильная (транспортные средства в движении)	8	3,32	9,96
7. Салонная воздушных средств	10	4	12

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шишмарев, В. Ю. Надежность технических систем : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. Ю. Шишмарев. – М. : Изд. Центр «Академия», 2010. – 304 с.
2. Дружинин, Г. В. Надежность автоматизированных систем / Г. В. Дружинин ; изд. 3-е перераб. и доп. – М. : Энергия, 1977. – 536 с.
3. Klass, P. J. Cycling tests increase reliability factors / P. J. Klass. – «Aviation Week», Sept. 1960, 5, vol. 3, № 10.
4. Никулин, С. М. Надежность элементов радиоэлектронной аппаратуры / С. М. Никулин. – М. : Энергия, 1979. – 80 с.

А.М.С.АЛХОМАИДИ<sup>1</sup>

#### ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

<sup>1</sup> Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи», г. Минск, Республика Беларусь

Широкое применение вычислительной техники в науке позволило решить многие задачи,