

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. В. Августов, А. А. Кучмагра, О. С. Молчанов, Л. М. Олейник

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Представлены материалы по расчету показателей надежности системы контроля топливосодержащих материалов «Сигнал» в процессе эксплуатации на объекте «Укрытие». Показано, что система контроля в настоящее время находится в стадии нормальной работы, однако для прогнозирования изменения показателей надежности для системы в целом необходимо провести дополнительные исследования блоков из комплекта запасных инструментов и принадлежностей, которые оказывают непосредственное влияние на ее надежность (в том числе на ее ресурс).

В процессе контроля размножающих свойств топливосодержащих материалов (ТСМ) объекта «Укрытие» представляет интерес динамика изменений показателей надежности системы контроля ТСМ (СК ТСМ) в течение ее эксплуатации, обслуживания и ремонта. Более полная информированность о показателях надежности и периодическое их уточнение дает возможность более рационально подходить к составлению графика профилактических и ремонтных работ в процессе эксплуатации СК. С этой целью целесообразно периодически проводить оценку показателей надежности с дальнейшим их сравнением, а при необходимости и, при достаточном объеме данных, графическим построением кривых, наглядно отражающих динамику их изменений. Эти данные, представляющие интерес уже сами по себе, также могут быть использованы для оценки возможности определения остаточного ресурса СК. Увеличение нормативного срока эксплуатации является важным как с экономической точки зрения, учитывая сложный структурный состав информационно-измерительных комплексов (ИИК) СК и высокой стоимости их элементов, так и с точки зрения повышения безопасности персонала, так как уменьшается объем работ, проводимых в специфических условиях объекта «Укрытие».

В настоящей статье представлены материалы по расчету оценок показателей надежности, состоящей из восьми модулей СК ТСМ «Сигнал», введенной в опытно-промышленную эксплуатацию на объекте «Укрытие» с января 1998 г., и сравнение этих данных с аналогичными данными, полученными за период с начала ее эксплуатации по 1 марта 1999 г. и представленными в [1]. Как и в [1], расчеты проводились на основе методики и рекомендаций, изложенных в [2]. Исходные данные, взятые как из [1] за период с начала эксплуатации СК ТСМ «Сигнал» с января 1998 г. по март 1999 г., так и из «Журнала дефектов и неполадок» объекта «Укрытие» до августа 2005 г., представлены в табл. 1.

В табл. 1 в каждой n -й строке, соответствующей номеру модуля ($n = 1 \dots 8$), над горизонтальной чертой представлены обозначения событий (отказов) A_{nk} ($k =$ номер отказа), под горизонтальной чертой проставлены даты отказов и в скобках количество дней от начала эксплуатации системы до соответствующего отказа (наработка на отказ) - τ_{ki} , где i - порядковый номер k -го отказа (начиная сверху).

Все основные неисправности можно объединить в несколько групп:

нестабильность показаний в канале;

отсутствие показаний в канале;

отказ блоков систем обработки и сбора информации.

Все вышеперечисленные неисправности не привели к включению аварийной сигнализации.

Для расчета показателей надежности выбраны модель и расчетные формулы:

план испытаний (NMT);

функция распределения наработки до отказа – экспоненциальное распределение $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ (λ – интенсивность отказов);

$\hat{\lambda} = \frac{d}{NT}$ – формула для вычисления оценки интенсивности отказов (d – количество

отказов за время эксплуатации T ; N – объем выборки, в нашем случае – количество модулей ИИК).

Обоснования выбора плана испытаний, функции распределения наработки до отказа и формулы для вычисления оценки интенсивности отказов приведены в [1]; используемые в настоящей статье термины и определения в области надежности даны в соответствии с [3,4].

По данным табл. 1 находим:

общее количество отказов $d = \sum d_k = 51$, где d_k – количество k -х отказов;

среднюю интенсивность отказов $\hat{\lambda} = \frac{51}{8 \cdot 2800} = 0,0023$ (1/дней) $\approx 0,831$ (1/год)

($N = 8; T = 2800$ дней);

среднюю наработку на отказ $t_0 = 1/\hat{\lambda} = 1/0,0023 = 435$ дней = 1,2 года.

Аналогично определяем оценки средней интенсивности первых отказов и средней наработки до отказа [2, 5]:

$$\hat{\lambda}_1 = d_1 / \sum \tau_{1i} = 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ (1/дней)} = 0,54 \text{ (1/год);}$$

$$t_{\text{отк}} = 1/\hat{\lambda}_1 = 1/(1,47 \cdot 10^{-3}) = 681 \text{ день} = 1,9 \text{ года.}$$

Границы доверительных интервалов интенсивностей отказов (с учетом [1, 2]) приобретают следующий вид:

$$\text{нижняя граница} \quad \underline{\lambda} = \frac{\hat{\lambda}_{\chi^2_{1-q}}(2d)}{2d} = \frac{\chi^2_{1-q}(2d)}{2NT}; \quad (1)$$

$$\text{верхняя граница} \quad \overline{\lambda} = \frac{\hat{\lambda}_{\chi^2_q}(2d+2)}{2d} = \frac{\chi^2_q(2d+2)}{2NT}; \quad (2)$$

$$\underline{\lambda}_1 = \frac{\hat{\lambda}_{\chi^2_{1-q}}(2d_1)}{2d_1} = \frac{\chi^2_{1-q}(2d_1)}{2 \sum_{i=1}^8 \tau_{1i}}; \quad (3)$$

$$\overline{\lambda}_1 = \frac{\hat{\lambda}_{\chi^2_q}(2d_1+2)}{2d_1} = \frac{\chi^2_q(2d_1+2)}{2 \sum_{i=1}^8 \tau_{1i}}; \quad (4)$$

$\chi^2(2d)$, $\chi^2(2d+2)$ – табулированные значения распределения χ^2 с $(2d)$ и $(2d+2)$ степенями свободы и $(1-q)$ и q уровнями значимости.

Выбирая согласно приложению В.2 [2] доверительную вероятность для двустороннего интервала 0,95 получим: $q = (1 + 0,95)/2 = 0,975$, $1 - q = 0,025$. Учитывая, что $d = 51$ ($2d = 102$, $2d + 2 = 104$), $d_1 = 8$ ($2d_1 = 16$, $2d_1 + 2 = 18$), по табл. Д.5 [2], применяя метод линейной интерполяции (аналогично [1]), находим:

$$\begin{aligned} \chi^2_{0,05}(102) &= (\chi^2_{0,05}(110)(102 - 100) + \chi^2_{0,05}(100)(110 - 102))/(110 - 100) = 79,702; \\ \chi^2_{0,01}(102) &= (\chi^2_{0,01}(110)(102 - 100) + \chi^2_{0,01}(100)(110 - 102))/(110 - 100) = 71,744; \\ \chi^2_{1-q}(2d) &= \chi^2_{0,025}(102) = (\chi^2_{0,05}(102)(0,025 - 0,01) + \chi^2_{0,01}(102)(0,05 - 0,025))/(0,05 - 0,01) = 74,728; \\ \chi^2_{0,99}(104) &= (\chi^2_{0,99}(110)(104 - 100) + \chi^2_{0,99}(100)(110 - 104))/(110 - 100) = 140,45; \\ \chi^2_{0,95}(104) &= (\chi^2_{0,95}(110)(104 - 100) + \chi^2_{0,95}(100)(110 - 104))/(110 - 100) = 128,796; \\ \chi^2_q(2d + 2) &= \chi^2_{0,975}(104) = (\chi^2_{0,99}(104)(0,975 - 0,95) + \chi^2_{0,95}(104)(0,99 - 0,975))/(0,99 - 0,95) = 136,08; \\ \chi^2_{1-q}(2d_1) &= \chi^2_{0,025}(16) = (\chi^2_{0,05}(16)(0,025 - 0,01) + \chi^2_{0,01}(16)(0,05 - 0,025))/(0,05 - 0,01) = 6,618; \\ \chi^2_q(2d_1 + 2) &= \chi^2_{0,975}(18) = (\chi^2_{0,99}(18)(0,975 - 0,95) + \chi^2_{0,95}(18)(0,99 - 0,975))/(0,99 - 0,95) = 32,579. \end{aligned}$$

Подставляя полученные данные в формулы (1) - (4) и учитывая, что $NT = 8 \cdot 2800 = 22400$ дней, $\Sigma \tau_{i1} = 5442$ дней, получим:

$$\lambda = 0,00167 \text{ (1/дней)} = 4,57 \text{ (1/год)}; \quad \bar{\lambda} = 0,00304 \text{ (1/дней)} = 8,32 \text{ (1/год)};$$

$$\lambda_1 = 0,00061 \text{ (1/дней)} = 1,67 \text{ (1/год)}; \quad \bar{\lambda}_1 = 0,00299 \text{ (1/дней)} = 8,19 \text{ (1/год)};$$

$$t = 1/\bar{\lambda} = 328,9 \text{ (дней)} = 0,90 \text{ (года)}; \quad \bar{t} = 1/\lambda = 598,8 \text{ (дней)} = 1,64 \text{ (года)};$$

$$t_1 = 1/\bar{\lambda}_1 = 334,4 \text{ (дней)} = 0,92 \text{ (года)}; \quad \bar{t}_1 = 1/\lambda_1 = 1644,7 \text{ (дней)} = 4,51 \text{ (года)}.$$

В завершение расчетов определим вероятность безотказной работы за время эксплуатации (за наработку): $P = e^{-\hat{\lambda} T} = e^{-0,0023 \cdot 2800} = 1,6 \cdot 10^{-3}$.

Результаты проведенных в настоящей статье расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

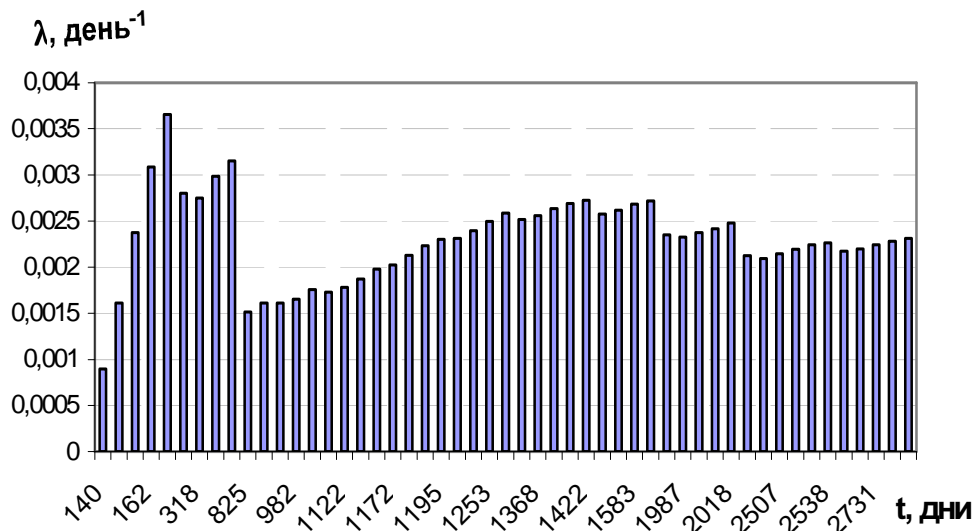
Показатели надежности	Экспериментальная оценка	Доверительная граница	
		нижняя	верхняя
Средняя интенсивность отказов	$\hat{\lambda} = 0,831 \text{ (1/год)}$	$\lambda = 4,57 \text{ (1/год)}$	$\bar{\lambda} = 8,32 \text{ (1/год)}$
Средняя наработка до отказа	$t_{\text{отк}} = 681 \text{ день} = 1,9 \text{ года}$	$t_1 = 0,92 \text{ (года)}$	$\bar{t}_1 = 4,51 \text{ (года)}$
Вероятность безотказной работы	$1,6 \cdot 10^{-3}$	-	-
Средняя наработка на отказ	$t_0 = 435 \text{ дней} = 1,2 \text{ года}$	$t = 0,90 \text{ (года)}$	$\bar{t} = 1,64 \text{ (года)}$

Сравнивая полученные результаты с результатами, представленными в [1], видим, что показатели надежности несколько улучшились. Это вполне соответствует анализу статистических данных об отказах, приведенному в [3] (раздел 3.1.2), и объясняется тем, что после начала эксплуатации и на этапе нормальной работы происходит замена дефектных изделий и интенсивность отказов несколько уменьшается.

Динамика изменения интенсивности отказов $\lambda(t)$ как отношение общего количества отказов на каждый момент времени $d(t)$ к общей наработке Nt всех систем определяется как

$$\lambda(t) = d(t)/Nt.$$

Рассчитанный по этой формуле график представлен на рисунке.



Динамика изменения интенсивностей отказов.

Как видно из графика, после резкого роста в начале эксплуатации, интенсивность отказов существенно снизилась, что свидетельствует о «приработке» модулей, и в дальнейшем имеет приблизительно стационарный характер. Это указывает на то, что модули СК ТСМ «Сигнал» находятся в режиме «нормальной работы», а проводимые регламентные и ремонтные работы выполняются в достаточном объеме и с необходимой периодичностью.

Следует отметить, что в настоящей статье авторами ставилась задача проведения анализа показателей надежности непосредственно задействованного в работе СК ТСМ «Сигнал» аппаратного состава. Однако для прогнозирования изменения показателей надежности (система контроля классифицируется как система нормальной эксплуатации, важная для безопасности, и характеризуется обобщенным показателем надежности - коэффициентом готовности, что предусматривает при восстановлении работоспособного состояния замену вышедших из строя блоков и узлов) необходимо провести дополнительные исследования блоков из комплекта запасных инструментов и принадлежностей, которые подвержены старению и оказывают непосредственное влияние на надежность всей системы в целом (в том числе на ее ресурс).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучмагра А.А., Молчанов О.С., Одинокин Г.И. и др. Оценки показателей надежности системы контроля топливосодержащих материалов по результатам опытно-промышленной эксплуатации // Проблемы Чернобиля. - 1999. - Вып. 4. - С. 73 - 77.
2. ДСТУ 3004-95. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. – К.: Госстандарт Украины.
3. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України.
4. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. – К.: Держстандарт України.
5. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.

Поступила в редакцию 26.12.05

14 ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАЛИВОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**В. В. Августов, О. А. Кучмагра, О. С. Молчанов, Л. М. Олійник**

Представлено матеріали за розрахунком показників надійності системи контролю паливовмісних матеріалів «Сигнал» у процесі експлуатації на об'єкті «Укриття». Показано, що система контролю в даний час знаходиться в стадії нормальної роботи, проте для прогнозування зміни показників надійності для системи в цілому необхідно провести додаткові дослідження блоків з комплекту запасних інструментів і приладдя, яке робить безпосередній вплив на її надійність (зокрема, на її ресурс).

14 ESTIMATION OF RELIABILITY INDEXES OF THE CHECKING SYSTEM OF FUELCARRYING MATERIALS IN THE PROCESS OF EXPLOITATION**V. V. Augustov, A. A. Kuchmagra, O. S. Molchanov, L. M. Oliynyk**

Materials are presented upon settlement of reliability indexes of the checking system of fuel-carrying materials «Signal» in the process of exploitation on an object «Ukrytya». It is rotined that the checking system presently is in the stage of normal work, however for prognostication of change of indexes to reliability for the system on the whole, it is necessary to conduct additional researches of blocks from the kit of spare tools and belongings which have direct influence on its reliability (including, on its resource).

Таблиця 1

№ модуля (№ измеритель- ного канала)	№ отказа										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 (1 ... 4)	A ₁₁ ----- 20.06.01 (1253)	A ₁₂ ----- 25.11.04 (2506)	A ₁₃ ----- 27.12.04 (2538)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2 (5 ... 8)	A ₂₁ ----- 02.01.01 (1084)	A ₂₂ ----- 23.02.01 (1136)	A ₂₃ ----- 23.06.01 (1256)	A ₂₄ ----- 24.06.03 (1987)	A ₂₅ ----- 25.07.03 (2018)	A ₂₆ ----- 25.11.04 (2507)	-----	-----	-----	-----	-----
3 (9 ... 12)	A ₃₁ ----- 16.06.98 (155)	A ₃₂ ----- 23.06.98 (162)	A ₃₃ ----- 20.06.01 (1253)	A ₃₄ ----- 25.07.03 (2018)	A ₃₅ ----- 25.11.04 (2507)	A ₃₆ ----- 05.07.05 (2729)	A ₃₇ ----- 07.07.05 (2731)	A ₃₈ ----- 02.08.05 (2757)	-----	-----	-----
4 (13 ... 16)	A ₄₁ ----- 01.06.98 (140)	A ₄₂ ----- 19.06.98 (158)	A ₄₃ ----- 02.07.98 (171)	A ₄₄ ----- 23.04.01 (1195)	A ₄₅ ----- 13.10.01 (1368)	A ₄₆ ----- 08.05.02 (1575)	-----	-----	-----	-----	-----
5 (17 ... 20)	A ₅₁ ----- 07.10.98 (268)	A ₅₂ ----- 02.08.00 (931)	A ₅₃ ----- 09.02.01 (1122)	A ₅₄ ----- 23.02.01 (1136)	A ₅₅ ----- 17.09.01 (1342)	A ₅₆ ----- 20.10.01 (1375)	A ₅₇ ----- 09.11.01 (1395)	A ₅₈ ----- 16.04.02 (1553)	A ₅₉ ----- 16.05.02 (1583)	A ₅₁₀ ----- 11.06.02 (1609)	A ₅₁₁ ----- 25.11.04 (2507)
6 (21 ... 24)	A ₆₁ ----- 09.06.01 (1242)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
7 (25 ... 28)	A ₇₁ ----- 22.09.00 (982)	A ₇₂ ----- 06.10.00 (996)	A ₇₃ ----- 14.04.03 (1916)	A ₇₄ ----- 08.07.03 (2001)	A ₇₅ ----- 08.06.05 (2702)	-----	-----	-----	-----	-----	-----
8 (29 ... 32)	A ₈₁ ----- 26.11.98 (318)	A ₈₂ ----- 13.12.98 (335)	A ₈₃ ----- 04.01.99 (357)	A ₈₄ ----- 18.04.00 (825)	A ₈₅ ----- 15.05.00 (852)	A ₈₆ ----- 31.03.01 (1172)	A ₈₇ ----- 04.04.01 (1176)	A ₈₈ ----- 05.04.01 (1177)	A ₈₉ ----- 06.12.01 (1422)	A ₈₁₀ ----- 23.08.04 (2413)	A ₈₁₁ ----- 15.07.05 (2739)