

УДК 621.3.019.658.652

**АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕВОДУ
ДЖЕРЕЛА ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У РОБОЧЕ ПОЛОЖЕННЯ****О. В. Малахов, Т. М. Козак**

Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Искра», м. Луганськ
вул. Звейнека, 145с, м. Луганськ, 91033, Україна. E-mail: official@iskra.lugansk.ua, iskra_nipki@mail.ru

Надана оцінка показників надійності механізму переводу джерела іонізуючого випромінювання. Запропонований метод розрахунку показників надійності, що базується на аналізі фізичних процесів деградації. Показана відповідність даного механізму встановленим вимогам безвідмовності. Виконаний орієнтовний розрахунок за даним методом показав відповідність обраного варіанту механізму поставленим умовам експлуатації виробу (5000 циклів), а також передбаченим у ISO 3999 (50000 циклів).

Ключові слова: показники надійності, вірогідність безвідмовної роботи, середнє напрацювання повністю, DM-розподіл.

**АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЗМА ПЕРЕВОДА
ИСТОЧНИКА ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РАБОЧЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ****О. В. Малахов, Т. Н. Козак**

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Искра", г. Луганск
ул. Звейнека, 145 с, г. Луганск, 91033, Украина. E-mail: official@iskra.lugansk.ua, iskra_nipki@mail.ru

Дана оценка показателей надежности механизма перевода источника ионизирующего излучения. Предложен метод расчета показателей надежности, основанный на анализе физических процессов деградации. Показано соответствие рассматриваемого механизма установленным требованиям безотказности. Выполненный ориентировочный расчет по данному методу показал соответствие выбранного варианта механизма поставленным условиям эксплуатации изделия (5000 циклов), а так же предусмотренным в ISO 3999 (50000 циклов).

Ключевые слова: показатели надежности, вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, DM-распределение.

АКТУАЛЬНОСТЬ РОБОТЫ. В условиях экономической интеграции при расширении и углублении производственно-технологических связей и увеличении потока товаров актуальной задачей является повышение эффективности досмотрового контроля. Одно из направлений решения этой задачи – оптимизация специализированной техники досмотрового неразрушающего контроля. Для обнаружения несанкционированных вложений внутри конструкций транспортных средств все чаще применяются портативные радиоизотопные приборы (РИП).

Принцип работы РИП основан на регистрации проходящего или обратно рассеянного излучения. Последнее используется, в основном, при одностороннем доступе к объекту контроля [1].

Актуальной задачей при создании портативных РИП является обеспечение радиационной безопасности.

Потенциальная радиационная опасность РИП определяется его возможным радиационным воздействием на население при радиационных авариях. Механизм перевода ИИИ относится к основным системам, важным для безопасности, т.к. его неисправность может вызвать реальное (или потенциальное) облучение людей [2, 3]. Поэтому надежность данного механизма должна быть высокой (вероятность безотказной работы $P(t)$ стремится к единице).

Цель работы – анализ надежности конструкции механизма перевода источника ионизирующего излучения в рабочее положение в радиоизотопных

приборах досмотрового контроля; обоснование характеристик, определяющих показатели надежности механизма перевода ИИИ в рабочее положение и соответствие их уровня требуемым показателям надежности.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Расчет показателей надежности на стадии проектирования изделия может производиться несколькими методами. «Наиболее предпочтительным является вероятностно-физический подход к оценке надежности, основанный на использовании специальных вероятностных распределений, в основе формализации которых лежит аппроксимация случайного процесса деградации изделия некоторым случайным процессом и получение специальных вероятностных распределений отказов.

Данный подход позволяет привлекать разнообразную информацию о процессах деградации. Показано, что наиболее эффективными для оценки надежности высоконадежных изделий являются вероятностно-физические модели надежности и среди них – диффузионные распределения наработки до отказа (DN и DM-распределения)» [4].

Основные составные части прибора: источник ионизирующего излучения (ИИИ) с защитой, механизм перевода ИИИ в рабочее положение и положение хранения, узел детектирования. Для предлагаемого детектора контрабанды выбран вариант защиты ИИИ, представленный на рис. 1 [5].

Устройство защиты состоит из двух частей: защитной поворотной оболочки (2), которая закрывает ИИИ со всех сторон, кроме коллиматора и экрана (1). Обе части выполнены из материала с высокой удельной плотностью.

В начальном положении коллиматор перекрыт экраном, при этом защитная оболочка и экран образуют сферу, внутри которой в центральной части расположен ИИИ (3).

Механизм перевода ИИИ в положение «открыто» должен повернуть защитную оболочку с источником вокруг т. О на угол α ($\approx 54^\circ$). Ниже показаны возможные варианты выполнения механизмов перевода (рис. 2) с учетом характеристик защиты ИИИ (габариты, масса, форма) [6].

В первом варианте (рис. 2,а) поворот осуществляется двумя рычагами: кнопкой–толкателем (1) и дополнительным рычагом (2). Пружина кручения (3) автоматически возвращает защитную оболочку в положение «закрыто» при отпуске кнопки.

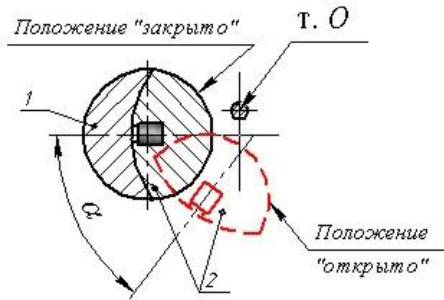


Рисунок 1 – Схема защиты источника ионизирующего излучения

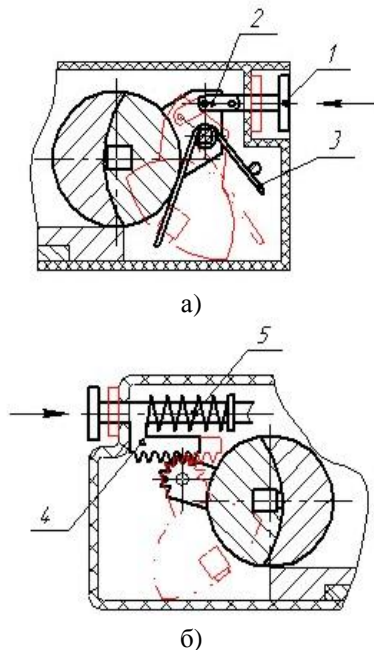


Рисунок 2 – Схемы механизмов перевода источника в положение „открыто”

Во втором варианте (рис. 2,б) использован кнопка-рычаг с зубчатым зацеплением (4), который

возвращается в положение «закрыто» с помощью пружины сжатия (5).

Метод расчета показателей надежности на основе анализа физических процессов деградации объекта предусмотрен ДСТУ 2862–94 [7].

Для детектора контрабанды по табл. 3 ДСТУ 2862 выбрана структурная схема надежности устройства ССН–1 (последовательная из разнотипных элементов, т.е. отказ устройства наступает при отказе любого элемента). Ограничение срока службы механизма перевода связано с процессами деградации составных частей механизма с течением времени. По принципу «слабого звена» определяющим процессом разрушения, приводящим к отказу механизма (в обоих вариантах) является усталость пружины.

Принимается гипотеза о том, что распределение ресурса (долговечности) деталей машин описывается ДМ–распределением. В связи с универсальностью функции ДМ–распределения и упрощения расчетов принимается гипотеза о том, что распределение амплитуд нагружения описывается также ДМ–распределением. Расчет произведем по «Методика расчета показателей надежности деталей машин на основе ДМ–распределения» (приложение Д ДСТУ 2862).

Под надежностью системы понимается ее способность безотказно работать с заданными характеристиками в течении заданного времени. Следовательно, показателями безотказности системы является вероятность безотказной работы в течение определенного времени $P(t)$ и средняя наработка до первого отказа T_{cp} .

Проектируемый детектор должен выполнять 5000 циклов [8] (под циклом имеется в виду перевод ИИИ в рабочее положение и возврат в положение хранения) с периодичностью 10 циклов в час.

Вероятность безотказной работы в интервале времени (0..500) определяется по формуле для ДМ–распределения (табл. 1) [9, 10]:

$$P(t) = \Phi\left(\frac{m-t}{n\sqrt{mt}}\right), \quad (1)$$

где Φ – функция нормированного нормального распределения;

μ – параметр масштаба распределения.

При одномерном предельном состоянии (учет только напряжений кручения) параметр масштаба распределения ресурса детали определяем по формуле (Д. 2) ДСТУ 2862–94.

$$m = \frac{K_{реж} \cdot N_G}{N_E} \left(\frac{t_{-1Д}}{t_{a \max}}\right)^{m_t}, \quad (2)$$

где N_E – число нагружений в единицу времени, исходя из режима эксплуатации устройства

($N_E = 10 \frac{1}{\text{час}}$); N_G – абсцисса точки перелома

кривой усталости ($N_G = 10^6$ циклов (п. 4.2 ГОСТ 25.504–82);

m_r – показатель степени кривой усталости (в соответствии с ГОСТ 25.504–82 (п. 4.3) $m_r = 10$; $t_{a \max}$ – максимальная амплитуда напряжения (согласно рабочему чертежу пружины, амплитуда напряжения $t_{a \max} = 28 \frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}$); $t_{-1Д}$ – предел выносливости пружины с учетом концентраторов напряжения, абсолютных размеров и качества обработки поверхности. В соответствии с ГОСТ 9389–75 для проволоки стальной II класса (диаметр 1,2 мм) $s_B = 200 \frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}$.

$$\text{Тогда } t_{-1Д} = 0,5 \cdot s_B = 0,5 \cdot 200 = 100 \frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}.$$

$K_{реж}$ – коэффициент, учитывающий режим нагружения.

$K_{реж}$ определим по формуле (Д.1) ДСТУ 2862–94:

$$K_{реж} = \frac{a_p}{a_m}; \quad (3)$$

$$a_p = 1 + \frac{n_a^2 u_p^2}{2} - n_a u_p \left(1 + \frac{n_a^2 u_p^2}{4} \right)^{1/2}; \quad (4)$$

$$a_m = \frac{a_p^m}{2} \left\{ \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(m-1+i) \ln_a^{2i}}{i!(m-1-i)!2^i} + \sum_{i=0}^m \frac{(m+i) \ln_a^{2i}}{i!(m-i)!2^i} \right\}; \quad (5)$$

где u_p – квантиль нормированного нормального распределения уровня p ;

p – достоверность (вероятность) оценки максимального нагружения ($t_{a \max}$);

m – показатель степени кривой усталости, $m = INT[m_r] = 10$;

n_a – коэффициент вариации амплитуд напряжения (для процесса малоциклового усталости согласно приложения Б ДСТУ 2862–94 $n_a = 0,4$).

Квантиль нормированного нормального распределения определим по табл. 3 [9]. При вероятности максимального нагружения пружины $p=0,8$ квантиль $u_p = 0,842$.

В результате вычислений по формулам (3) – (5) получаем следующие значения: $a_p = 0,73$; $a_m = 42940$; $K_{реж} = 1,7 \cdot 10^{-5}$.

Подставим полученные значения в формулу (2), получим параметр масштаба распределения:

$$m = \frac{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 10^6}{10} \left(\frac{100}{28} \right)^{10} = 5,7 \cdot 10^5 \text{ (час)}.$$

Определяем вероятность безотказной работы по формуле (1):

$$P_{(500)} = \Phi \left(\frac{5,7 \cdot 10^5 - 500}{0,4 \sqrt{5,7 \cdot 10^5 \cdot 500}} \right) = \Phi(84,3).$$

Функцию нормального распределения определяем по таблице П 2.3 [10].

При аргументе (84,3) более 4,0 вероятность безотказной работы равна единице, т.е. $P_{(500)} = 1$.

Среднюю наработку до первого отказа T_{cp} детали определяем по формуле (Д.7) ДСТУ 2862–94:

$$T_{cp} = m \left(1 + \frac{n^2}{2} \right). \quad (6)$$

Подставив значения в формулу (6) получим:

$$T_{cp} = 5,7 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,4^2}{2} \right) = 615600 \text{ (часов)}.$$

С учетом полученного значения T_{cp} , наработка до отказа составляет 6156000 циклов. Таким образом, пружина обеспечивает более чем достаточный запас надежности механизма перевода.

В связи с введением с 2012 г. технического регламента закрытых источников ионизирующего излучения, утвержденного постановлением Кабинета Министров Украины от 05.12.2007 г. № 1382, разработаны гармонизированные ДСТУ ISO 3999:2010 «Захист від радіації. Прилади для промислової гамма-радіографії. Технічні вимоги до експлуатації, конструкції та випробувань» [11].

Проведенный в работе [12] анализ нормативно-технического обеспечения в области безопасности ИИИ, как международного, так и действующего в Украине, показал, что «требования к конструкции по ГОСТ 18324 не противоречат требованиям ISO 3999, однако, что касается надежности конструкции, в ГОСТ 18324 предусмотрена наработка до отказа не менее 5000 рабочих циклов, тогда как тест на надежность ISO 3999 предусматривает 50000 циклов. Таким образом, требования ISO 3999 в части надежности конструкции на порядок выше».

С учетом этих требований определим вероятность безотказной работы по формуле (1):

$$P_{(5000)} = \Phi \left(\frac{5,7 \cdot 10^5 - 5000}{0,4 \sqrt{5,7 \cdot 10^5 \cdot 5000}} \right) = \Phi(26,4).$$

Вероятность безотказной работы также равна единице.

Таким образом, показатель безотказности соответствует как установленным на сегодняшний день, так и предусмотренным в ISO 3999 требованиям.

ВЫВОДЫ. Для оценки показателей надежности элемента (пружины) механизма перевода ИИИ предлагается метод расчета, основанный на анализе физических процессов деградации.

Выполненный ориентировочный расчет по данному методу показал соответствие выбранного варианта механизма поставленным условиям эксплуатации изделия (5000 циклов), а так же предусмотренным в ISO 3999 (50000 циклов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Перспективы применения детектора скрытых пустот на основе эффекта обратного рассеяния гамма-излучения при контроле транспортных средств // М.В. Дубровкина, А.В. Калужный // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT–2010: Збірка наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції. –

Херсон: Видавництво Херсонського державного морського інституту, 2010. – С. 27–31.

2. Калюжний А.В. Исследование методов контроля скрытых пустот различными способами // Адаптивні системи автоматичного управління: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Днепропетровск: Системні технології, 2007. – Вып. 10 (30). – С. 54–62.

3. ДГН 6.6.1.–6.5.001–98 Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): затверджено наказом МОЗ України від 14.07.1997 р. № 208; введено в дію постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1997 р. № 62.

4. Федухин А.В. Разработка методов ускоренной оценки надежности элементов и устройств вычислительной техники и систем управления: дис. ... доктора технічних наук: 05.13.05. – Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, 2005. – 358 с.

5. Пристрій захисту для радіоізотопних приладів. Зареєстровано в державній службі інтелектуальної власності України. Державне підприємство «Український інститут промислової власності». Регистрационный номер заявки, а 2011 04666. Дата подання 15.04.2011.

6. Дослідження та оптимізація приладів оглядового контролю, в яких використовується метод зворотного гамма-випромінювання шифр И–08/11 // Звіт про науково-дослідну роботу

(проміжний). Етап І. Вибір напрямку досліджень та теоретичні дослідження. № держреєстрації 0111U000022 Інв. № 87. 2011.

7. ДСТУ 2862–94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. – Введ.: 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1995. – 38 с.

8. ГОСТ 18324–73. Блоки источников ионизирующих излучений для релейных радиоизотопных приборов. Общие технические условия. – М: Издательство стандартов, 1981. – 18 с.

9. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.

10. Надежность технических систем. Справочник. Под ред. проф. И.А. Ушакова – М.: Радио и связь, 1985.

11. Технический комитет стандартизации ТК 79. Проект ДСТУ ISO 3999:2010 «Захист від радіації. Прилади для промислової гамма-радіографії. Технічні вимоги до експлуатації, конструкції та випробувань». [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.certatom.kiev.ua/ua/336/index.php>.

12. Логунова Г.Л. Аспекты безопасности радиоизотопных приборов в технологиях досмотрового контроля транспортных средств // „Науковий вісник” УкрНДІПБ. – 2011. – № 2 (24). – С. 87–93.

ANALYSIS OF PARAMETERS OF RELIABILITY OF MECHANISM FOR ACTIVATION OF IONIZING RADIATION SOURCE

T. Kozak

Scientific Research and Project Designing Institute Iskra, Lugansk
Zveineka st., 145-c, Lugansk, 91033, Ukraine. E-mail: official@iskra.lugansk.ua, iskra_nipki@mail.ru

One of the trends of efficiency upgrading in nondestructive inspection control is application of portable radioisotope instruments, which operating principle of is based on the record of transmitted or backscattered radiation. One of the main systems essential for safety of such types of instruments is a source activation mechanism, as its failure may cause real (or potential) people radiation exposure. That is why this mechanism should be of high reliability. This work offers a method of reliability parameters calculation, which is based on the analysis of physical degradation activity; the work gives an approximate calculation according to this method and shows capability of the chosen mechanism provide the product operating conditions required (5,000 cycles) and the conditions specified in ISO 3999 (50,000 cycles).

Key words: reliability indexes, probability of failure-free operation, mean time between failures, DM–distribution.

REFERENCES

1. Perspectives of application of detector of concealed hollows based on effect of backscattered gamma radiation at inspection of vehicles // M.V. Dubrovkina, A.V. Kaliuzhny // *Modern Informational and Innovation Technologies in transport MINTT-2010: Digest of Scientific Works of International Scientific and Application Conference*. – Kherson: Publishing Office of Kherson State Navy Institute, 2010. – PP. 27–31. [in Russian]

2. Kaliuzhny A.V. Research of methods of control of concealed hollows by different ways // *Adaptive systems of automatic control: Interdepartmental Scientific Technical Digest*. – Dnepropetrovsk: System Technologies, 2007. – Iss. 10 (30). – PP. 54–62. [in Russian]

3. *National Hygienic Standards 6.6.1.–6.5.001-98 Radiation Safety Standards of Ukraine (RSSU-97)*: Affirmed by Order of Ministry of Health Protection of Ukraine 14.07.1997 № 208; introduced by the Regulation of Chief State Medical Officer of Ukraine 01.12.1997 № 62. [in Ukrainian]

4. Fedukhin A.V. *Elaboration of methods of accelerated estimation of reliability of calculating and control elements and devices*: Dis. ... of Doctor of Tech. Sc.: 05.13.05. –

Cybernetics Institute named after V.M. Glushkov, NAS of Ukraine, Kyiv, 2005. – 358 p. [in Russian]

5. *Protecting instrument for radioisotope devices. Registered in National Intellectual Property Service of Ukraine*. State enterprise Ukrainian Institute of Industrial Property. Appl. Reg. Number a 2011 04666. Appl. Date 15.04.2011. [in Ukrainian]

6. *Research and optimization of inspection instruments where backscattered gamma radiation method used*. Code И–08/11. Report of scientific-research work (intermediate) Stage I. Choice of research trend and theoretical research. State registration № 0111U000022 Inv. № 87. 2011. [in Ukrainian]

7. DSTU 2862-94. *Technical Reliability. Methods of calculation of reliability indexes. General requirements*. – Intr.: 01.01.96. – К.: Derzhstandart Ukrainy, 1995. – 38 p. [in Ukrainian]

8. National State Standard 18324-73. *Block of ionizing radiation sources for relay radioisotope devices. General specification*. – М: Izdatelstvo Standartov, 1981. – 18 p. [in Russian]

9. *Mathematical methods in theory of reliability* / B.V. Gnedenko, Yu.K. Beliaev, A.D. Soloviev. – М.: Nauka, 1965. – 524 p. [in Russian]

10. *Reliability of technical systems. Compendium* / Ed. Prof. I.A. Ushakov – М.: Radio i Sviyaz, 1985. [in Russian]

11. *Technical Committee on Standardization TK 79. Project DSTU ISO 3999:2010 Protection against radiation. Instruments for industrial gamma radiography. Technical requirements on exploitation, constructions and tests.* <http://www.certatom.kiev.ua/ua/336/index.php>. [in Russian]

12. Logunova G.L. Aspects of safety of radioisotope instruments in vehicle inspection techniques // *Scientific Herald UkrNDPIB*. – 2011, № 2 (24). – PP. 87–93. [in Russian]

Стаття надійшла 15.05.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Некрасовим А.В.