

# ВЛИЯНИЕ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ РАДИАЦИОННЫХ ПОРТАЛЬНЫХ МОНИТОРОВ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НАДЕЖНОСТЬ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

*Е. А. Власенко, А. В. Никиенко*

ФГУП «Горно-химический комбинат», г. Железногорск Красноярского края

Радиационные портальные мониторы (РПМ) являются важной частью комплексов инженерно-технических средств физической защиты как средства обнаружения проноса (провоза) запрещенных предметов, а именно ядерных материалов (ЯМ).

В соответствии с требованиями п. 39, п. 40 Правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов, утвержденных постановлением Правительства РФ от 19 июля 2007 г. № 456, РПМ устанавливаются на контрольно-пропускных пунктах, обеспечивая досмотр людей и транспорта.

Наиболее важными техническими характеристиками радиационных портальных мониторов с точки зрения обеспечения надежного радиационного контроля являются следующие:

- порог обнаружения ядерных материалов;
- частота ложных срабатываний РПМ, когда источник ионизирующего излучения отсутствует в контролируемом пространстве РПМ;
- средняя наработка на отказ. Критерием отказа считается нарушение в работе РПМ, приводящее к несоответствию величины порога обнаружения и частоты ложных срабатываний требованиям ГОСТ Р 51635-2000.

Чтобы обнаружить ЯМ во время его перемещения через контролируемое пространство, РПМ должен выполнить следующие основные задачи:

1) набрать достаточную статистику измерений уровня фона  $N_{\phi}$  в отсутствие источников ионизирующего излучения и посторонних объектов в контролируемом пространстве РПМ;

2) во время перемещения объекта через контролируемое пространство РПМ произвести измерение уровня излучения  $N_{об}$ ;

3) выполнить проверку критерия обнаружения ядерного материала (сравнить уровень излучения от контролируемого объекта  $N_{об}$  с пороговым уровнем окружающего фона  $N_{пор}$ , определенным по формуле (1));

4) в случае если критерий обнаружения ЯМ выполняется ( $N_{об} \geq N_{пор}$ ), предоставить оператору (контролеру) соответствующий световой или звуковой сигнал.

При этом возможно возникновение ошибок первого и второго рода. Ошибки первого рода (ложное срабатывание РПМ) могут возникать по следующим причинам:

1) статистически при большом числе проходов через контролируемое пространство РПМ или его продолжительной непрерывной работе допускается возникновение ложных срабатываний даже в отсутствие объекта в контролируемом пространстве РПМ [1]. Это может быть связано с колебанием уровня окружающего фона, наличием электронных шумов в узлах РПМ, накоплением случайных ошибок измерений и т. д.;

2) с увеличением чувствительности РПМ к изменению уровня ионизирующего излучения увеличивается и частота ложных срабатываний.

Возникновение ошибок второго рода, когда объект с источником ионизирующего излучения пересекает контролируемое пространство РПМ без выдачи сигнала тревоги, может быть обусловлено следующими причинами:

1) скорости счета, зарегистрированной блоками детектирования во время перемещения объекта с источником через контролируемое пространство РПМ, может быть недостаточно для выполнения критерия обнаружения ядерного материала.

2) недостаточно высокая производительность и надежность функционирования РПМ.

3) применение настроек и алгоритмов работы РПМ без учета специфики места его размещения и условий функционирования.

С целью обеспечения надежного радиационного контроля в системе физической защиты ядерного объекта (ЯО) необходимо добиться снижения вероятности возникновения ошибок первого и второго рода.

Принцип работы РПМ, как правило, предусматривает два основных режима: измерение фона и измерение уровня излучения от контролируемого объекта.

После того, как РПМ определил уровень окружающего фона, дальнейший алгоритм работы монитора реализуется производителями двумя основными путями: РПМ переходит в режим непрерывного контроля (режим измерения уровня излучения от контролируемых объектов) или продолжает работать в «дежурном» режиме, периодически обновляя значение уровня фона и ожидая появления объекта в контролируемом пространстве.

Переход из «дежурного режима» в режим контроля объектов и обратно в автоматическом режиме работы РПМ осуществляется с помощью управляющего сигнала от внешних устройств.

В основном в качестве внешних устройств, формирующих управляющий сигнал для перехода РПМ в режим контроля, применяются датчики присутствия, представляющие собой охранные извещатели.

Для расчета основных показателей надежности примем, что РПМ работает не как отдельное устройство, а является элементом автоматизированной системы физической защиты. Сигналы срабатывания РПМ регистрируются на автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора. Автоматизированная система в обоих случаях имеет последовательную структуру и состоит из непосредственно РПМ, контроллера нижнего уровня, контроллера верхнего уровня и АРМ оператора [2]. РПМ, работающий в режиме автоматического контроля, в дополнение к перечисленным выше элементам предполагает применение датчика присутствия.

Произведем расчет наработки на отказ системы для обоих вариантов ее построения. В качестве исходных данных для расчета приняты значения средней наработки на отказ  $T_i$  элементов, реально используемых в автоматизированных системах физической защиты, согласно эксплуатационной доку-

ментации, см. таблицу. Интенсивность отказа элементов  $\lambda_i$  рассчитана по формуле  $\lambda_i=1/T_i$  [3].

В этом случае интенсивность отказа РПМ, работающего в режиме непрерывного контроля, будет равна  $\lambda_c^{непр} = \lambda_{РПМ} + \lambda_{КНУ} + \lambda_{КВУ} + \lambda_{АРМ} = 0,000124 \text{ час}^{-1}$ , а средняя наработка на отказ системы  $T_c^{непр} = 1/\lambda_c^{непр} = 8064 \text{ ч}$ .

Для автоматического режима работы РПМ интенсивность отказа системы будет равна  $\lambda_c^{авт} = \lambda_{авт} + \lambda_{РПМ} + \lambda_{КНУ} + \lambda_{КВУ} + \lambda_{АРМ} = 0,000141 \text{ час}^{-1}$ , средняя наработка на отказ  $T_c^{авт} = 1/\lambda_c^{авт} = 7092 \text{ ч}$ .

Далее получим значение вероятностей безотказной работы системы для каждого из режимов работы РПМ, табулируя функцию  $P_c(t) = e^{-\lambda_c t}$  на интервале от 0 до 10000 ч [4]. Графическая иллюстрация полученных значений представлена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, вероятность безотказной работы системы, работающей в автоматическом режиме по датчику присутствия, несколько ниже за счет того, что в такой системе применяется большее количество элементов.

Значения средней наработки на отказ и интенсивности отказов элементов системы

	Датчик присутствия	РПМ	Контроллер нижнего уровня	Контроллер верхнего уровня	АРМ оператора
Средняя наработка на отказ $T_i$ , ч	60000	12000	87600	87600	52560
Интенсивность отказа $\lambda_i$ , ч <sup>-1</sup>	0,000017	0,000083	0,000011	0,000011	0,000019

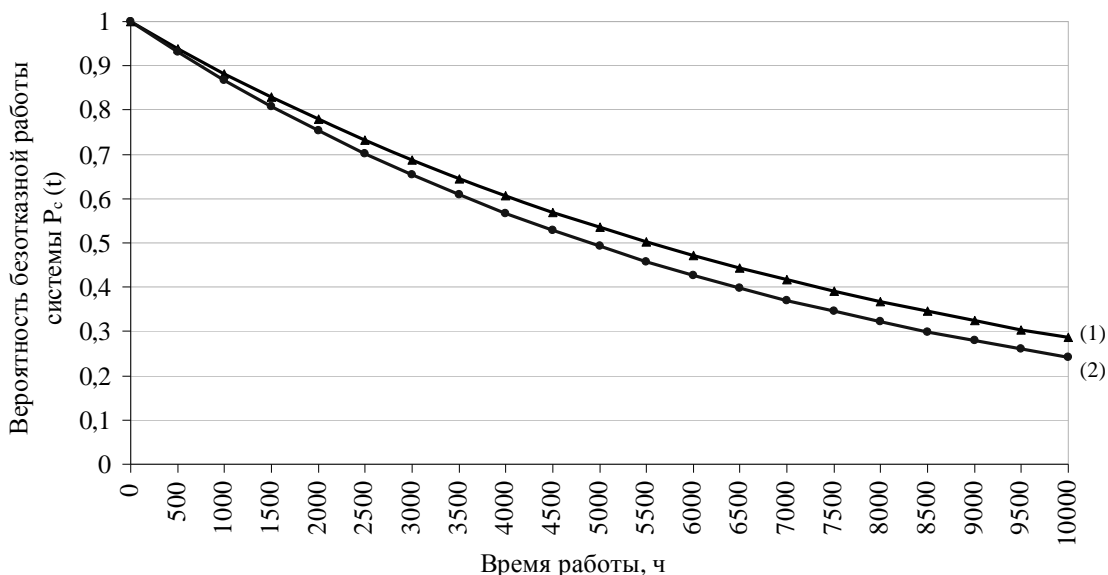


Рис. 1. Функция вероятности безотказной работы системы  $P_c(t)$  от времени: 1 – для режима непрерывного контроля, 2 – для режима автоматического контроля по датчику присутствия

Далее проведем анализ вероятности и частоты ложных срабатываний РПМ для обоих режимов работы. Для расчета воспользуемся последовательной схемой из двух элементов (РПМ и датчик присутствия), поскольку вероятность ложного срабатывания системы, инициируемого контроллерами и АРМ оператора, ввиду их конструктивных и технологических особенностей, а также выполняемых ими функций, пренебрежимо мала.

Согласно требованиям ГОСТ Р 51635-2000 частота ложных срабатываний РПМ должна составлять не более одного ложного срабатывания на 1000 проходов (проездов) и (или) не более одного ложного срабатывания за 8 часов непрерывной работы.

Для функционирования РПМ в системе физической защиты ЯО характерно некое среднее количество проходов (проездов) в сутки (смену), совершаемых с переменной интенсивностью, что может оказывать влияние на частоту и вероятность ложных срабатываний. Распределение числа проходов (проездов) через контролируемое пространство одного РПМ в течение суток было принято на основе статистических предприятия.

В случае работы РПМ в режиме непрерывного контроля важно отметить, что определить текущее количество проходов (проездов) в такой системе без использования средств контроля доступа не представляется возможным. Кроме того, ложное срабатывание в этом случае может возникнуть в любой момент, а не только в момент прохода (проезда). В связи с изложенными выше доводами частоту ложных срабатываний РПМ для режима непрерывного контроля  $\lambda_{лс}^{непр}$  целесообразно принять равной не более одного ложного срабатывания за 8 часов непрерывной работы.

Оценим вероятность ложного срабатывания РПМ, работающего в режиме непрерывного контроля, табулируя на интервале от 0 до 24 часов следующую функцию [5]:

$$Q_{лс}^{непр}(t) = 1 - e^{-\lambda_{лс}^{непр} t} \quad (2)$$

В реальных условиях эксплуатации датчика присутствия в составе РПМ высокая интенсивность помех (постоянное движение людей, вибрации и т. д.) может приводить к существенному увеличению частоты ложных срабатываний. По этой причине примем частоту ложных срабатываний датчика присутствия равной не более одного ложного срабатывания за 4 часа.

Для РПМ, работающего в автоматическом режиме по датчику присутствия, частоту ложных срабатываний  $\lambda_{лс}^{авт}$  целесообразно принять равной не более одного ложного срабатывания на 1000 проходов (проездов). При этом важно заметить, что с учетом ограниченного количества персонала и транспортных средств, которым разрешен проезд, количество проходов (проездов), равное 1000, может быть совершено за время более 8 часов. Кроме того, частота ложных срабатываний РПМ, работающего в режиме автоматического контроля, непосредственно зависит от интенсивности проходов (проездов): чем чаще совершаются проходы (проезды), тем выше частота ложных срабатываний РПМ. С учетом неравномерной интенсивности проходов (проездов), зависимость частоты ложных срабатываний РПМ от количества проходов (проездов), совершенных за время наблюдения, будет иметь следующий вид:

$$\lambda_{лс}^{авт}(t) = \frac{N_{np}}{1000 \cdot T_{набл}}, \quad (3)$$

где  $N_{np}$  – суммарное количество проходов (проездов) за общее время наблюдения  $T_{набл}$ .

Получим графики зависимости частоты ложных срабатываний РПМ, работающего в режиме автоматического контроля, от времени наблюдения с учетом переменной интенсивности проходов и низкой интенсивности проездов (рис. 2).

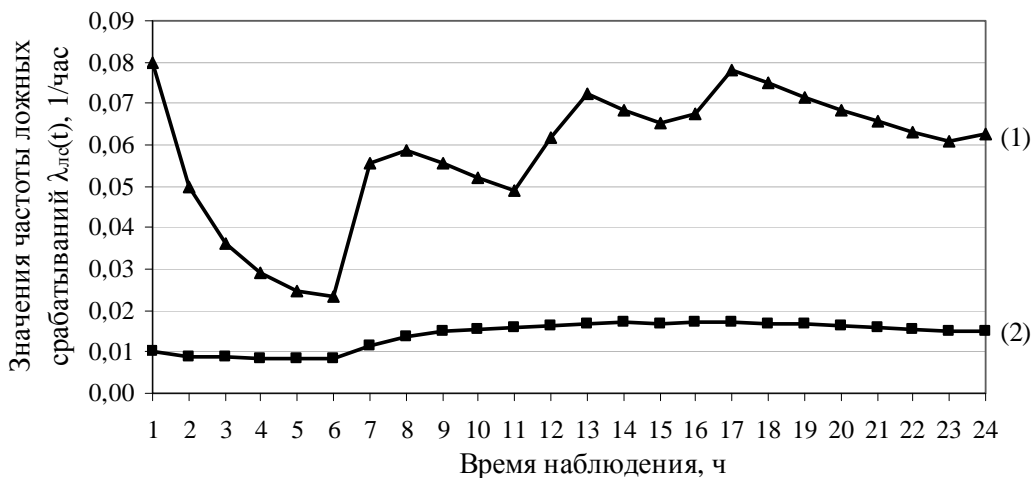


Рис. 2. Значения частоты ложных срабатываний РПМ  $\lambda_{лс}(t)$ , работающего в режиме автоматического контроля по датчику присутствия, в зависимости от времени наблюдения  $t$ : 1 – для пешеходного РПМ, 2 – для транспортного РПМ

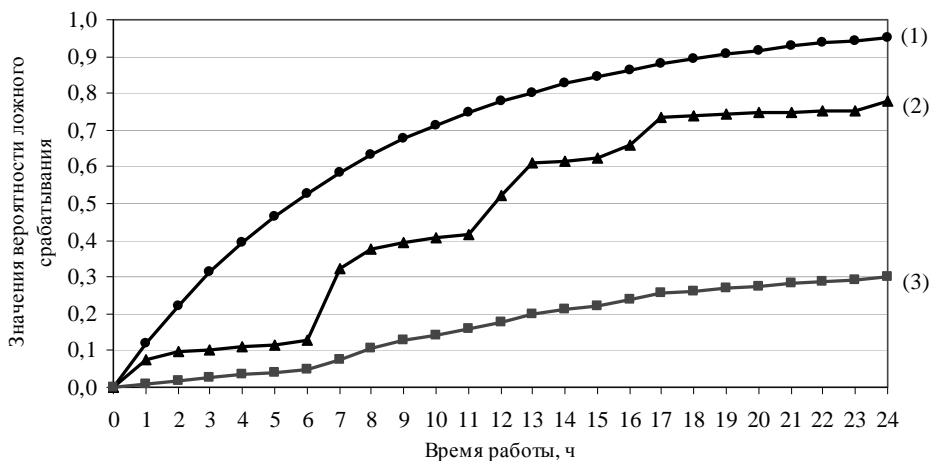


Рис. 3. Функция вероятности ложного срабатывания  $Q_{лс}(t)$  от времени наблюдения: 1 – РПМ, работающего в режиме непрерывного контроля; 2 – системы на основе пешеходного РПМ, работающей в режиме автоматического контроля по датчику присутствия; 3 – системы на основе транспортного РПМ, работающей в режиме автоматического контроля по датчику присутствия

К ложному срабатыванию системы, работающей в автоматическом режиме, могут привести следующие события: одновременное ложное срабатывание датчика присутствия и РПМ, а также ложное срабатывание РПМ во время прохода (проезда) при нормальном функционировании датчика присутствия. Следует отметить, что ложное срабатывание датчика присутствия при нормальной работе РПМ не вызовет ложного срабатывания системы, а приведет лишь к переводу РПМ в режим контроля в отсутствие объекта. Данные о работоспособных состояниях системы, где  $P$  – вероятность того, что элемент системы будет нормально функционировать,  $Q$  – вероятность того, что элемент системы вызовет ложное срабатывание, позволяют рассчитать вероятность ложного срабатывания системы, функционирующей в автоматическом режиме, как сумму вероятностей возникновения всех состояний, приводящих к ложному срабатыванию системы [3]:

$$\begin{aligned}
 Q_{лс}^{ам}(t) &= P_{датч} \cdot Q_{РПМ} + Q_{датч} \cdot Q_{РПМ} = \\
 &= e^{-\lambda_{лс}^{датч} \cdot t} \cdot (1 - e^{-\lambda_{лс}^{РПМ} \cdot t}) + \\
 &+ (1 - e^{-\lambda_{лс}^{датч} \cdot t}) \cdot (1 - e^{-\lambda_{лс}^{РПМ} \cdot t})
 \end{aligned}
 \quad (4)$$

Табулируя функцию (4) на интервале от 0 до 24 ч, с учетом значений частоты ложных срабатываний, рассчитанных по формуле 3, получим график функции вероятности ложных срабатываний системы, функционирующей в автоматическом режиме (рис. 3).

Как видно из рис. 3, вероятность ложного срабатывания РПМ является монотонно возрастающей

функцией времени. При низкой интенсивности проходов (проездов) вероятность ложного срабатывания РПМ, работающего в режиме автоматического контроля по датчику присутствия, значительно меньше вероятности ложного срабатывания РПМ, работающего в режиме непрерывного контроля. При этом резкое увеличение интенсивности проходов (проездов) приводит к заметному возрастанию функции вероятности ложного срабатывания.

Режим работы РПМ целесообразно определять в зависимости от конкретных условий эксплуатации (численности персонала ЯО, частоты проходов (проездов), особенностей пропускного режима, а также режима работы ЯО). В условиях низкой частоты проходов (проездов) через контрольно-пропускной пункт целесообразно применять системы, работающие в режиме автоматического контроля по датчику присутствия, что позволяет обеспечить значительно меньшую частоту ложных срабатываний.

## Литература

- ГОСТ Р 51635-2000 «Мониторы радиационные ядерных материалов. Общие технические условия».
- Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. Практикум. – СПб: БХВ-Петербург, 2006. 560 с.
- Шкляр В. Н. Надежность систем управления: учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2009. 126 с.