

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И СЛЕЖЕНИЯ ЗА РАДИАЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

A model is offered for the estimation of exactness of the mnogoparametricheskikh checking and track systems after radio-active materials. Determination of index of integrity of guard is entered. Basic directions of increase to exactness of this index are analysed.

Для обеспечения безопасности от ядерно-радиационного терроризма прежде всего необходимо исключить возможность реализации аварийных взрывов с радиационными материалами на объектах ядерно-топливного цикла и предотвратить возможность любых аварий с ядерным оружием.

В настоящее время не возможен эффективный контроль за опасными техногенными объектами (в том числе и ядерными) в рамках системы обеспечения безопасности любого уровня без создания и широкого применения систем автоматического контроля и слежения (САКС).

Состояние объекта с радиационными материалами определяется измерением многочисленных параметров. В зависимости от значений этих параметров контролируемый объект может находиться в состояниях «норма» или «нарушение».

Используемые САКС имеют федеративную с централизованным управлением структуру (рис. 1). Непосредственно на контейнер с контролируемым объектом устанавливается мобильный модуль, на который возлагается задача измерения параметров контроля и на их основании предварительный анализ состояния объекта. Результаты предварительного анализа поступают в центр управления, где принимается окончательное решение о состоянии объекта контроля.

Пусть для контроля объекта и оценки его состояния необходимы n параметров $x_i (i = \overline{1, n})$. Т.е. параметры x_i являются доступными (измеряемыми) для непосредственной количественной оценки.

При выполнении измерений параметров x_1 необходимо учитывать следующее:

- Результаты отдельных измерений отражают статистическую природу радиоактивного распада. Поэтому они флуктуируют от одного измерения к другому.
- Несмотря на статистические флуктуации отдельных измерений, они с любой заданной точностью позволяют извлечь информацию о средних значениях изучаемых величин.

- Результаты измерений подчиняются определенным статистическим закономерностям.
- Контейнеры с радиационными материалами размещаются в специальных хранилищах [4]. Поэтому радиационное поле в хранилище контейнеров имеет сложную структуру. Радиоактивный фон создаваемый одним контейнером влияет на радиоактивный фон другого контейнера.

Таким образом, для объективной оценки состояния контролируемого объекта необходимо получить достоверные значения измеряемых параметров x_j . Как правило, результаты измерений нуждаются в определенной математической обработке.

На основании измеренных параметров с помощью некоторой функции F_j можно получить локальный показатель K_j характеризующий состояние охраны (целостности) контролируемого j объекта.

$$K_j = F_j(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (1)$$

где $j = \overline{1, m}$ и m – количество мобильных модулей задействованных в охране контейнеров с радиационными материалами.

На основании локальных показателей K_j определяется обобщенный качественный показатель K , характеризующий состояние охраны контролируемых объектов в целом.

$$K = F(k_1, k_2, \dots, k_m) \quad (2)$$

Функция F_j , получаемая на основе изучения свойств объекта контроля (контейнера с радиоактивными материалами), представляет собой функциональную модель контроля.

Перед созданием САКС на основе исследований физических свойств объекта контроля и функциональных особенностей контроля устанавливают объективно существующую взаимосвязь F_j между показателем состояния охраны объекта контроля K_j и параметрами x_j , которые доступны для измерений. Таких показателей состояния может быть один или несколько, в зависимости от количества установленных мобильных модулей и алгоритмов контроля. В случае нескольких показателей, состояние охраны определяется на основе оценки совокупности показателей состояния (2). Простейшим примером такого контроля является случай, когда в результате измерений одного или нескольких показателей состояния K_j подтверждается нахождение значений этих показателей в некотором допустимом диапазоне:

$$K^1 < K < K^2 \quad (3)$$

или

$$\left\{ \begin{array}{l} K_1^1 < K_1 < K_1^2 \\ K_2^1 < K_2 < K_2^2 \\ \dots\dots\dots \\ K_n^1 < K_n < K_n^2 \end{array} \right. \quad (4)$$

где K_j^1, K_j^2 – границы допустимых значений K_j показателя состояния охраны контролируемого объекта.

Оценка показателя состояния охраны объекта контроля с помощью САКС производится опосредованно – на основе значений первичных измеряемых параметров ($x_i, i = \overline{1, n}$), связанных со значением показателя состояния охраны объекта контроля K_j некоторой функциональной зависимостью (1).

Параметры x_i , значения которых оцениваются при непосредственных измерениях, представляют собой первичные измеряемые параметры. Значения показателя K_j , получаемые на основе измеренных значений первичных измеряемых параметров x_i и известной функциональной зависимости F_j , являются количественной оценкой состояния охраны контролируемого объекта (выходной информацией мобильного модуля). Точность оценки состояния охраны контролируемого объекта характеризуется степенью приближения значения показателя K_j , полученного в результате измерений с помощью САКС, к действительному значению этого показателя K_j^0 . Функция F , отражающая функциональную модель объекта контроля, далеко не всегда формализуется в виде простых аналитических соотношений и может иметь достаточно сложную иерархическую функциональную структуру.

Расхождение между значением показателя K_j , полученное в результате измерений первичных измеряемых параметров, и действительным значением K_j^0 представляет собой погрешность оценки показателя целостности охраны

$$\Delta K_j = \left| K_j - K_j^0 \right| \quad (5)$$

Значение погрешности ΔK_j является характеристикой точности полученного значения K_j показателя целостности охраны.

Погрешность оценки того или иного параметра контролируемого объекта, как известно из метрологии, является неизбежным следствием не идеальности процесса измерений.

Среди многообразных подходов к классификации погрешностей

наибольший интерес представляет разделение всех погрешностей на две группы, отличающиеся природой их возникновения [1]:

- инструментальные погрешности;
- методические погрешности.

Инструментальные погрешности обусловлены не идеальностью инструментального средства, используемого для оценки значения измеряемого параметра. Эти погрешности являются показателем точности (достоверности) используемых инструментальных средств. В рассматриваемом случае – инструментальные погрешности будут представлены погрешностями средств измерения первичных параметров ($x_i, i = \overline{1, n}$).

Методические погрешности [3] обусловлены не идеальностью метода измерений. К ним относятся не идеальность используемой модели объекта контроля, влияние различных воздействующих факторов на результаты измерений и т.п. Оценка методических погрешностей при некоторых видах измерений составляет весьма сложную проблему, являющуюся до настоящего времени актуальным предметом исследований метрологии и измерительной техники.

На основе положений теории многопараметрических измерений [2] погрешность измерения показателя целостности охраны K_j для сложных объектов контроля может быть оценена через известную функциональную модель объекта F_j . В простейшем случае, когда можно пренебречь корреляционными связями между первичными измеряемыми параметрами, результирующая погрешность оценки показателя целостности охраны K_j сложного объекта контроля может быть представлена в виде соотношения

$$\Delta K_j = \frac{\partial F_j}{\partial x_1} (\Delta x_1) + \frac{\partial F_j}{\partial x_2} (\Delta x_2) + \dots + \frac{\partial F_j}{\partial x_n} (\Delta x_n) \quad (6)$$

где $\frac{\partial F_j}{\partial x_i}$ - частные производные функции $F_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$, являющиеся весовыми коэффициентами частных погрешностей; Δx_i – частные погрешности измерения первичных измеряемых параметров.

Если частные погрешности Δx_i являются инструментальными погрешностями, то значения ΔK_j будет оценкой результирующей инструментальной погрешности измерений показателя целостности охраны K_j .

Если частные погрешности Δx_i отражают не идеальность метода измерения, то значение ΔK_j по приведенному соотношению будет оценкой результирующей методической погрешности измерений показателя K_j .

В случае, когда частные погрешности являются случайными, используется соотношение для дисперсий случайных погрешностей. Оценка

дисперсии случайной погрешности измерения показателя целостности охраны объекта контроля определяется соотношением

$$DK_j^2 = \left(\frac{\partial F_j}{\partial x_1}\right)^2 Dx_1^2 + \left(\frac{\partial F_j}{\partial x_2}\right)^2 Dx_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial F_j}{\partial x_n}\right)^2 Dx_n^2, \quad (7)$$

где DK_j^2 - дисперсия случайной погрешности оценки показателя целостности охраны K_j объекта контроля;

Dx_i^2 - дисперсии частных случайных погрешностей измерения первичных измеряемых параметров.

Приведенные соотношения объясняют основные подходы, принятые в метрологии и измерительной технике при оценке достоверности показателей измеряемых параметров сложных многофункциональных объектов, получаемой с помощью автоматизированных систем.

Рассмотрим, в какой степени эти подходы и положения могут быть применены к оценке точности САКС и формируемой с их помощью информации.

К параметрам, которые характеризуют контролируемый объект с радиационными веществами, а также целостность его охраны относятся регистрационные паспортные данные объекта учета и контроля.

В соответствии с действующими правилами учета минимальный состав данных, формируемых при оформлении и регистрации по месту хранения контейнера с радиоактивными веществами, должен включать следующие показатели:

- характеристика отходов;
- вид тары;
- № контейнера (тары);
- вид излучения;
- удельная активность;
- количество отходов;
- суммарная активность;
- адресные данные (координаты местоположения контейнера);
- служебная информация (включая идентификаторы лиц, оформлявших регистрационный учет).

Перечисленные группы показателей будем рассматривать как некоторую совокупность идентификационных параметров, отображающих в рамках принятой информационно-логической модели совокупные характеристики контейнера с РМ.

Назначение паспортных идентификационных характеристик состоит в обеспечении возможности однозначного выделения сведений на контейнер, как объекта учета радиоактивных материалов, из всего множества сведений о контейнерах с РМ. На основании паспортных данных можно определить о

целостности охраны контейнера. Любая неточность в задании или описании одного из перечисленных первичных идентификационных параметров $(x_i, i = \overline{1,9})$ приведет к ложному пути поиска контейнера, а также ложному выводу о целостности охраны. Отсюда следует, что искажения истинных значений первичных идентификационных параметров $(x_i, i = \overline{1,9})$ приведут к ошибкам в идентификации объекта учета (контейнера) и определении состояния охраняемого объекта. Обозначим количественно возможную ошибку в определении состояния охраны объекта учета как некоторую результирующую погрешность ДК, искажения в задании (или в формировании) каждого из первичных паспортных идентификационных параметров – как некоторые частные погрешности (Δx_i) , а функциональную связь между ними – как некоторую функцию F. Воспользуемся ранее приведенными соотношениями (6). Тогда связь между результирующей погрешностью идентификации состояния охраны контейнера ДК объекта учета контейнеров и частными погрешностями в определении (формировании) паспортных идентификационных параметров можно выразить соотношением:

$$\Delta K = \frac{\partial F}{\partial x_1} (\Delta x_1) + \frac{\partial F}{\partial x_2} (\Delta x_2) + \dots + \frac{\partial F}{\partial x_9} (\Delta x_9); \quad (8)$$

где $\frac{\partial F}{\partial x_i}$ - частные производные, имеющие смысл весовых коэффициентов, связывающих общую погрешность идентификации состояния охраны контейнера с частными погрешностями паспортных идентификационных параметров.

Соотношение (6) не является достаточно корректным, т.к. не учитывает имеющихся корреляционных связей между паспортными идентификационными параметрами. Предположим, что значения коэффициентов корреляции достаточно малы и ими можно пренебречь и, что частные погрешности (Δx_i) являются случайными независимыми величинами. По аналогии с соотношением (7) получаем соотношение для дисперсии погрешности идентификации состояния охраны контейнеров:

$$DK^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial x_1} \right)^2 (Dx_1)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_9} \right)^2 (Dx_9)^2; \quad (9)$$

где DK - среднеквадратическое отклонение (СКО) погрешности идентификации состояния охраны контейнера;

Dx_i – среднеквадратическое отклонение погрешности паспортного идентификационного параметра (x_i) .

Соотношение (9) важно тем, что оно позволяет решать задачу синтеза алгоритмов определения целостности охраны контейнера с РМ по заданному критерию точности.

Предположим, что заданная точность определения целостности охраны контейнера характеризуется заданным максимально допустимым значением СКО погрешности (DK). Принимая допущение о равном вкладе частных погрешностей первичных идентификационных параметров в общую погрешность, получаем соотношения для решения задачи синтеза алгоритмов определения целостности охраны по заданному критерию точности

$$(DK)^2 \geq 9 \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^2 (Dx)^2 \quad (10)$$

откуда получаем

$$(Dx) \leq \frac{(DK)}{3 \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)} \quad (11)$$

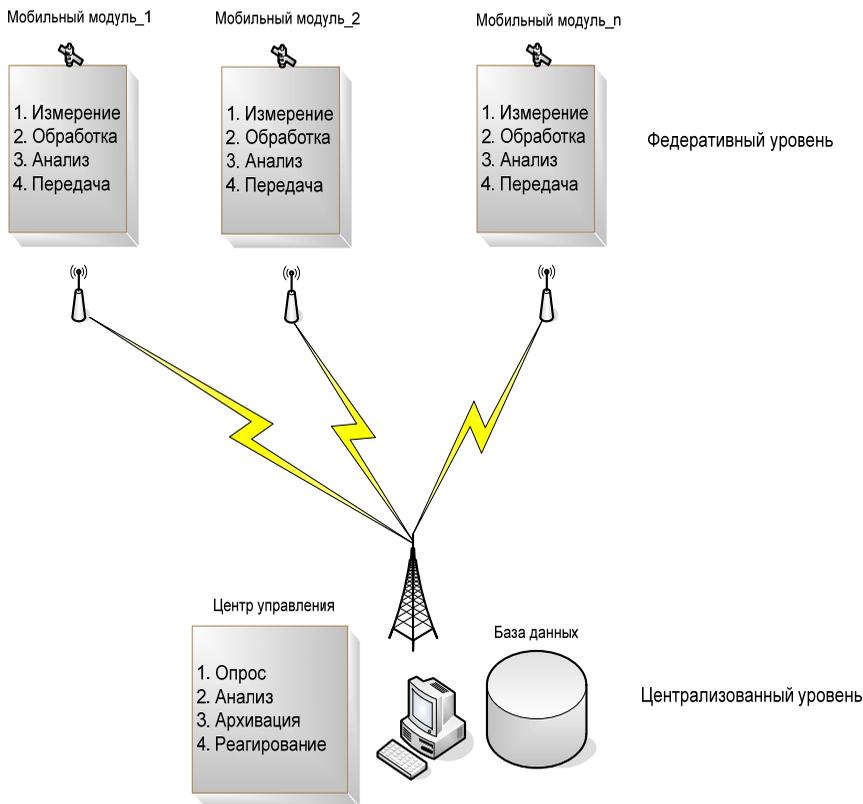


Рис. 1. Функциональная структура САКС

Полученные ограничения (Dx_i) есть не что иное, как частные критерии точности формирования первичных идентификационных параметров. Предположим, что описание идентификационного параметра x_i в базе данных занимает размерность N_c символов, причем искажение в любом из символов означает ошибку в идентификации контейнера. Пусть искажение каждого символа имеет одинаковую вероятность. Тогда получаем

$$P_i = P_{\text{pos}} N_c \quad (12)$$

где P_i – вероятность искажения идентификационного параметра (x_i);

P_{pos} – вероятность искажения символа в каждой позиции параметра (x_i);

N_c – размерность записи параметра (x_i)

Соотношение (12) совместно с соотношением (11) может быть использовано для решения задач синтеза алгоритмов определения целостности охраны контейнера с РМ по критерию точности.

Основным направлением повышения точности определения показателя целостности охраны контейнера является совместное применение нескольких идентификаторов контейнера (например, суммарная активность и координаты местоположения). В этом случае вероятность ошибки идентификации целостности будет определяться совместной вероятностью независимых событий, выражающихся погрешностями идентификации по каждому из указанных идентификаторов (т.е. произведением частных погрешностей).

Основными причинами появления погрешностей формирования идентификационных параметров контейнера могут быть операторские ошибки, искажения при обработке данных или внешние причины, обусловленные не идеальностью существующих правил оформления идентификационных данных.

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. М.- 1974.
2. Славутский Л.А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента. Учебное пособие: Изд-во ЧГУ, Чебоксары, 2006, 200 с.
3. Цветков Э.И. Методические погрешности статистических измерений. Энергоиздат. 1984. 144 с.
4. Саенко С.Ю. Технологические подходы для обеспечения безопасности при обращении с радиационными отходами. Журнал «Энергетика» НТУУ «Київський політехнічний інститут». №2 (21) - 2007

Поступила 26.01.2009р.