

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ – ЭЛЕМЕНТНЫЙ ПОДХОД И МЕТОД МАТРИЦЫ РИСКОВ

В.Э. Борисов, аспирант

В настоящее время идет активное развитие методов учета и контроля ядерных материалов и поиск решений в этой области. Цель – найти способы перехода к учету ядерных материалов, основанному на физических измерениях [1,2], проверках, анализе и обоснованности безвозвратных потерь. Значительно изменились и продолжают меняться правовые, технические и социальные условия. Идет работа по адаптации системы учета и контроля к реалиям сегодняшнего дня. Требуется соблюдение современных требований к точности, своевременности получения информации о количестве и перемещении ядерных материалов. Главные задачи учета и контроля – обеспечение возможности эффективного управления ядерными материалами и регулирование безопасности. Необходимо организовать учет таким образом, чтобы принимать во внимание возникающие в процессе работы недостатки и своевременно их устранять. Разрабатываемый метод оценки эффективности учета и контроля нацелен на решение задачи создания обратной связи в процессе организации и функционирования учета и контроля ядерных материалов.

При введении обоснованных изменений в методы учета и контроля, организацию взаимодействия уровней учета необходимо оценивать влиянию отдельного решения на окончательный результат. Поскольку одно нововведение или дополнительное требование может повлечь за собой дорогостоящую и сложную цепь изменений на различных уровнях системы учета и контроля, следует заранее оценивать пользу, которую можно будет извлечь из конкретного решения задачи и сравнивать ее с затратами человеческих и материальных ресурсов. Должен быть найден путь решения поставленной задачи с наименьшими затратами и наибольшей выгодой, т.е. необходимо решать оптимизационную задачу, минимизировать затраты и повышать эффективность учета. Под эффективностью в данном случае понимается вероятностная характеристика точности учета и безопасности ядерного материала или риск неправильного учета материала. Затраты на построение системы, эффективность которой оценивается, используются для выбора оптимального решения при проектировании систем учета и контроля на предприятиях или при повышении эффективности действующих систем. Важно принимать во внимание условие неснижения безопасности (защищенности) ядерного материала ниже определенных ограничений. Существует потребность в относительно простом методе нахождения оптимальных решений как на стадии проектирования объектов, так и при повышении достоверности учета и безопасности ядерного материала для уже функционирующих объектов. В настоящее время такой метод не разработан. Ниже рассмотрены аспекты применения метода матрицы рисков для оценки эффективности учета и контроля ядерных материалов.

Система учета и контроля ядерных материалов включает в себя несколько уровней. Ограничимся рассмотрением уровня зон баланса материалов (ЗБМ). ЗБМ – минимальные структурные элементы учета и контроля ядерных материалов, в которых проводятся измерения, подводится баланс материалов, формируются учетные данные, т.е. появляется и структурируется вся информация о ядерном материале. Они являются самыми удобными с точки зрения получения информации о материале [3]. Анализ функционирования учета и контроля показал необходимость дифференцированного подхода к решению. Выделены элементы, характеризующие мероприятия по своевременному получению достоверных данных о количестве и характеристиках ядерных материалов и обеспечению их безопасности, а именно: подготовка и проведение измерений, ведение и контроль документации, подготовка и проверка персонала, физические инвентаризации, система контроля доступа. Каждый из элементов учета и контроля охватывает определенные действия, направленные на получение достоверных данных о материале. Выбор элементов, обеспечивающих организацию и функционирование учета и контроля, их количество – один из основных вопросов в задаче качественного анализа системы. С одной стороны, необходимо достаточно подробно рассмотреть работу по учету ядерного материала, с другой – большое количество анализируемых элементов сделает задачу оценки эффективности громоздкой и требующей дополнительных данных, поскольку это связано с детализацией процессов.

В процессе работы список элементов будет варьироваться в соответствии с наличием и доступностью информации и с целью объективного и точного отражения учета и контроля. Набор элементов учета и контроля и степень детализации зависят от рассматриваемой ситуации (объекта, условий эксплуатации, необходимой точности и пр.).

В мировой практике и в России нет четкого механизма обобщения данных об учете и контроле, есть только основные правила организации учета и контроля [2]. Зачастую требования предъявляются лишь к отдельным составным частям, которые, в свою очередь, коррелируют друг с другом. Ниже выделены составные части (элементы) учета и контроля ядерных материалов и показаны способы их оценки. Следующим шагом станет получение общей оценки учета и контроля, а также обоснование методики получения общих оценок. Необходимо иметь в виду, что правильная оценка элементов учета и контроля полностью зависит от корректного и полного анализа объекта учета. Подобный анализ не может быть приведен в статье, но он необходим, и сделанные выводы базируются на анализе, проведенном для одной из ЗБМ завода по изготовлению топлива для реакторов типа ВВЭР. Рамки данной публикации позволяют привести лишь качественную оценку элементов учета и контроля. Обладая подробной информацией о материале, приборной базе, другими необходимыми данными и опираясь на разработанную методику, можно получить численную оценку в каждом конкретном случае. Для сбора и

классификации данных предлагается ввести “паспорт зоны баланса материалов”, включающий всю необходимую для последующего анализа информацию. Далее подробно рассмотрены элементы учета и контроля ядерных материалов и способы их оценки.

### **Подготовка и проведение измерений**

Очевидно, следует начать анализ данного элемента с выделения его составных частей, которые позволят нам детально его рассмотреть. Поскольку разделение подготовки и проведения измерений может привести к дублированию подэлементов из-за неоднозначности, не будем разделять эти понятия. Выделим составные части процесса подготовки и проведения измерений (подэлементы): методики проведения измерений; применяемые методы измерений; приборную базу; эталоны; выбор места проведения измерений.

Чтобы сделать оценку элементов более понятной, необходимо выделить в оцениваемых параметрах общие признаки. Наиболее просто разделить техническую составляющую и человеческий фактор, но в то же время неоднозначность оценки при таком разделении слишком велика. Поэтому выберем расширенный способ. Выделим в каждом подэлементе следующие факторы, которые по отдельности будет проще оценивать: техническая составляющая, возможность контроля, наличие документации, человеческий фактор.

Введение таких факторов, как возможность контроля и наличие документации, позволит снизить влияние человеческого фактора, хотя исключить его невозможно. Для исследования каждого из подэлементов оценим степень влияния на него этих четырех факторов. В большинстве случаев влиянием некоторых из них можно будет пренебречь.

### **Ведение и контроль документации**

Для того чтобы говорить о ведении и контроле документации, необходимо выделить те типы учетных и отчетных документов, которые встречаются на производстве. Важными будут и следующие показатели: источники информации о материале; характеристики материалов, регистрируемые в документах; требуемая точность; частота заполнения; возможность, предусмотренность проверки; ответственность; защищенность информации. Как видно, невозможно окончательно отделить элементы учета и контроля друг от друга, они продолжают пересекаться на уровне более глубокого рассмотрения. Например, показатель “источники информации о материале” характеризует документацию, а зависит от элемента “подготовка и проведение измерений”. Необходимо стремиться к возможному снижению влияния элементов при их оценке или рассматривать сначала элементы – источники информации, а затем те элементы, которые от этой информации зависят.

### **Подготовка и проверка персонала**

Элемент, очевидно, пересекается со всеми остальными элементами. Рассматривая другие элементы и аспекты их оценки, приходим к выводу, что человеческий фактор влияет на все виды деятельности при обращении с ядерными материалами. Необходимо учитывать влияние человека при планировании, проведении и контроле результатов, т.е. на всех этапах работы. Человеческий фактор имеет и большую неопределенность, но его значимость может быть уменьшена за счет дублирования действий человека техническими средствами. Таким образом, необходимо обратить внимание на человеческий фактор как при оценке каждого элемента в отдельности, так и в целом, выделив его в отдельный элемент. В данном отдельном элементе будет отражена общая оценка подготовленности персонала. При оценке влияния человеческого фактора на другие элементы можно только указать, насколько результат может быть искажен из-за ошибки оператора. То есть можно говорить об устойчивости результата к человеческому фактору и оценивать эту устойчивость в процентном соотношении.

Для оценки подготовленности персонала в целом выделим следующие аспекты оценки или подэлементы: начальная подготовка персонала; прохождение обучения на семинарах и курсах повышения квалификации; обучение в смежных областях; периодический контроль знаний. Как видно, довольно просто отследить фактический уровень подготовленности персонала и выразить его численным значением. Гораздо труднее говорить об усреднении этих значений по различным процессам. Основная цель этого элемента – отразить общее положение на производстве с подготовленностью кадров, а также тенденцию к повышению уровня знаний и качества работы сотрудников. Для получения информации о мероприятиях по повышению квалификации можно обратиться к базе данных Госатомнадзора России по посещению центров обучения. Имея общую оценку уровня подготовленности на данный момент времени, можно использовать ее как поправочный коэффициент при оценке риска получить неверную информацию о ядерном материале. При этом в отдельных элементах нужно учитывать такие аспекты, влияющие на оценку показателя, как степень автоматизации процесса, процент дублирования данных, зависимость работы технических средств от вмешательства со стороны человека, фиксация промежуточных результатов.

### Физические инвентаризации

Данный элемент по праву мог бы включать в себя все остальные элементы учета и контроля. Он одновременно использует в работе все остальные элементы и дает на выходе данные, которые позволяют проверить правильность ведения учета. От объективности проведения инвентаризации подчас зависит вся работа системы учета и контроля ядерных материалов. Одним из способов решения проблемы взаимного влияния элементов учета и контроля является получение общей оценки элемента и рассмотрение возможности ее последующего использования в других элементах. Для начала выделим подэлементы: планирование инвентаризации; техническое обеспечение; организация выборки; контроль результатов; анализ полученных данных; подведение баланса. Основной сложностью будет численная оценка показателя планирования инвентаризации. Этот подэлемент отражает процесс подготовки к проведению инвентаризации, формирование комиссии, наличие четкого регламента инвентаризации, незаинтересованность в результатах, распределение ответственности. Следовательно, в каждом отдельном случае показатель этого подэлемента должен быть подробно прокомментирован и не иметь определяющего значения, а лишь играть роль поправочных данных.

### Система контроля доступа

Множество вопросов, связанных с этим элементом, имеет смысл рассматривать в рамках проблемы физической защиты ядерного материала. Тем не менее необходимо пойти на такое дублирование, потому что большая часть данных, получаемых на этапе контроля доступа, используется в дальнейшем при рассмотрении достоверности учетных данных. Этот элемент - один из самых изученных и простых для численной оценки. Для начала выделим подэлементы: контроль доступа в ЗБМ, порталный мониторинг, наблюдение за материалом и устройства индикации вмешательства. Принимая во внимание всю широту понятия "доступ к материалу", для оценки этого элемента следует ограничиться только реальными и наглядными показателями. Именно эта цель ставилась при выделении вышеуказанных подэлементов. И если оценить возможные потери от доступа в зону, не предусмотренного инструкцией персонала, очень сложно и необходимо вводить поправочный коэффициент, то оценка сохранности и достоверности полученной ранее информации с учетом средств наблюдения окажется довольно простой задачей. Портальный же мониторинг вообще характеризуется качеством контролирующей вход(выход) аппаратуры и человеческими ошибками. Причем в случае с наблюдением за материалом успешно применяется дублирование как техническими средствами, так и с помощью охраны.

Может показаться, что количество элементов, выбранное в данном случае, мало, но специфика любого другого случая может быть учтена добавлением недостающего элемента или расширением его подэлементов. На данном этапе задается спектр способов оценки для различных типов элементов. В основном можно выделить два случая. Первый – случай с полностью неопределенными подэлементами. Здесь используем тот факт, что можно выразить действие подэлемента, как отклонение полученной или получаемой информации от истинного значения в процентном отношении при различной степени воздействия со стороны этого элемента. В случае с подэлементами, значение риска от которых определяется используемыми в процессе измерения приборами или методами, можно учесть данные о погрешностях и отклонениях, приведенные в документации к аппаратуре или в описании методик обработки данных. Таким образом, посредством части подэлементов получаем значения риска, а при помощи остальных – поправляем эти значения. Результатом будет некая сложная формула для вычисления риска по каждому элементу или подэлементу в зависимости от сложности оценки. Очевидно, что величина риска зависит от внешних воздействий на объект или рассматриваемую ЗБМ. Варьируя степень внешних воздействий, можем получить дискретный спектр значений риска для различных сочетаний элементов и при различных внешних условиях.

Элементы учета и контроля являются функционалами, оптимальное соотношение которых и есть решение задачи оценки эффективности. Сложность оптимизационной задачи заключается во взаимозависимости критериев, необходимости рассмотрения их совместного влияния на эффективность, а также большой неопределенности. Помимо характеристик используемой техники и методов обработки данных, критерии зависят от человеческого фактора, в том числе намеренных действий.

Особенности задачи - неопределенность и большое количество критериев – потребовали анализа возможности применения методов системного анализа, среди которых наиболее приемлемым оказался метод матрицы рисков [4]. Суть метода заключается в поиске оптимального соотношения элементов учета и контроля для конкретной ситуации на основании составления матрицы рисков и ее анализа. Матрица рисков представляет собой набор значений, полученных пересечением возможных вариантов организации учета и контроля на рассматриваемом объекте, и факторов, на появление которых мы не можем влиять, например, случайные ошибки, умышленные нарушения, внешние условия.

Элементами матрицы являются значения рисков получить неверную информацию о материалах. Риски вычисляются как произведение количества материала, который при данных условиях может остаться за пределами учета, на вероятности возникновения такой ситуации. В значение риска будет включен относительный показатель капиталовложений, необходимых для технического обеспечения выбранной комбинации критериев. Расчет отдельного элемента матрицы можно представить в виде

$$R_{i,j} = K_i \sum_{l=1}^m (P_{i,j,l} S_{i,j,l}),$$

где  $i$  – комбинация элементов учета и контроля;  $j$  – комбинация внешних воздействий;  $l$  – элемент учета и контроля;  $m$  – число элементов учета и контроля;  $R_{ij}$  – риск ошибочного учета материала для  $i$ -й комбинации элементов;  $P_{i,j,l}$  – вероятность данного события для  $l$ -го элемента;  $S_{i,j,l}$  – общая оценка количества материалов для данного события для  $l$ -го элемента;  $K_i$  – относительный показатель капиталовложений для  $i$ -й комбинации элементов.

Основной источник информации при вычислении рисков - анализ работы рассматриваемой ЗБМ. Для получения единой (общей) оценки в условиях наличия материалов, имеющих различные концентрации и химический состав, вводятся поправочные коэффициенты. Количественная оценка материалов будет производиться в эффективных килограммах или в показателях стоимости. Необходимо ввести временные ограничения для приведения решения к конкретному значению. Это необходимо для учета потока ядерного материала через ЗБМ. С течением времени будет увеличиваться как количество материала, находившегося в обращении в ЗБМ, так и вероятности событий (обнаружения несоответствия, появления ошибок). Причем возрастание вероятности будет иметь скачкообразный характер, так как зависит от проверок, инвентаризаций и других мероприятий, служащих причиной возникновения и устранения несоответствий. Решением проблемы может стать введение понятия "кумулятивный риск" - риск за некоторый период, связанный с проведением мероприятий по учету и контролю. Мы не ограничены временными рамками, необходимыми для предотвращения несанкционированного использования ядерных материалов. Наша задача – определить эффективность учета, сравнить между собой его различные элементы. Для этого нужно выбрать промежуток времени, достаточный для проявления воздействия различных элементов учета, для контроля всех категорий ядерных материалов, и в то же время такой, чтобы не было необходимости учитывать долгосрочные факторы (например, старение оборудования). Удобно было бы выбрать промежуток, соответствующий частоте отчетов по всем категориям, периодичности измерений, рабочему плану данного типа объектов.

Решением поставленной задачи является выбор оптимального соотношения элементов, основанный на минимизации рисков и затрат. Подробный анализ учета и контроля позволит выявить, к какому из элементов система наиболее чувствительна, какой из факторов наиболее значим.

#### Список литературы

1. Федеральный закон №170-ФЗ "Об использовании атомной энергии" (Собрание законодательства Российской Федерации, 1995, №48, ст. 4552).
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 14 октября 1996 г. №1205 "Концепция системы государственного учета и контроля ядерных материалов".
3. Богомолов А.М., Борисов В.Э., Гераскин Н.И., Ковалевич О.М., Крючков Э.Ф. О возможности применения методов системного анализа для оценки эффективности государственной системы учета и контроля ядерных материалов. Материалы XI семинара по проблемам физики реакторов. Москва, 4 - 8 сентября 2000 г.
4. Спицнадель В.Н. Системы качества (в соответствии с международными стандартами ISO семейства 9000). Учеб. пос. – СПб.: Издательский дом "Бизнес-пресса", 2000.