

ОЦЕНКА МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАЩИТЫ ИИИ ПРИБОРА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДОСМОТРОВОГО КОНТРОЛЯ

В.П. Литвин

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт
"Искра",*

ул. Звейнека 145 с, 91013, г. Луганск, Украина

E-mail: official@iskra.lugansk.ua

Статья посвящена оценке массогабаритных показателей защитного устройства источника ионизирующего излучения малогабаритных радиоизотопных приборов автоматизированного досмотрового контроля. Проведен краткий анализ конструкции существующих устройств защиты. Предложена сферическая форма защиты. Приведен сравнительный расчет массогабаритных характеристик устройств защиты.

Ключевые слова: радиоизотопный прибор, гамма-излучение, защита ИИИ, активность ИИИ, массогабаритные показатели.

ВВЕДЕНИЕ

С целью автоматизации и как следствие повышения эффективности и оперативности таможенного контроля грузов, транспортных средств, следующих через государственную границу, все большее применение находят специальные приборы с использованием радиометрических методов. Высокая информативность таких методов позволяет создавать поисковые средства автоматизированного неразрушающего контроля внутренней структуры объектов контроля и поиска скрытых предметов в проходящих или обратно рассеянных лучах высокоэнергетического излучения. Среди таких приборов все большее распространение получают малогабаритные носимые радиоизотопные приборы [1-8], так называемые детекторы контрабанды, оснащенные источником ионизирующего излучения (ИИИ) в качестве которого используется источник коротковолнового электромагнитного гамма-излучения с длиной волны менее 0,1 нм, являющегося одним из наиболее проникающих. При прохождении через вещество гамма-излучение испытывает ослабление (уменьшение интенсивности) ввиду поглощения и рассеяния его при взаимодействии гамма-квантов с атомами вещества (фотоэффект, комптоновское рассеяние, образование электронно-позитронных пар).

Детекторы контрабанды применяются в службах безопасности, таможенных органах и других ведомствах для обнаружения за преградами из металла, дерева, пластмассы, ткани несанкционированных вложений. С их помощью обученный инспектор может определить местоположение скрытой контрабанды в легковых автомобилях, грузовиках и фургонах, самолетах и судах (а именно, в стенках контейнеров, топливных баках, автомобильных шинах, фюзеляжах и крыльях самолета, и т.д.).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Достижение высокой достоверности работы радиоизотопного поискового прибора для таможенного досмотра связано с применением источников гамма-излучения с активностью, достаточной для эффективного поиска контрабанды. В результате анализа существующих приборов установлено, что активность ИИИ может достигать 1000 кБк [8], а в отдельных случаях может быть и выше. Это обстоятельство обуславливает дополнительные требования к прибору, а именно

необходимость защиты оператора от действия высокоэнергетического ионизирующего излучения экранированием.

Цель: Оценка массогабаритных показателей и формы защиты ИИИ радиоизотопного прибора контроля для оптимизации защитного устройства и прибора автоматизированного досмотрового контроля в целом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Закон ослабления нерассеянных гамма-квантов и нейтронов в защите («узкий пучок») описывается экспоненциальной зависимостью [9]:

$$I_d = I_0 \cdot e^{-d/\lambda} \quad (1)$$

где I_d и I_0 — интенсивности излучения за защитой (толщиной d) и без нее, λ — толщина материала, ослабляющая излучение в e раз (длина релаксации), зависящая от энергии излучения и защитного материала.

Из (1) видно, что с увеличением толщины слоя противорадиационной защиты количество пропущенного излучения падает экспоненциально.

И чем выше плотность экранирующего материала, тем больше ослабление и, следовательно, меньше требуемая толщина защитного слоя.

Для защиты от гамма-излучения в радиоизотопных приборах используются в основном вольфрам и его сплавы (ВНЖ, ВМ) или свинец.

Схемы и уравнения, описывающие ослабление нерассеянного излучения в материале защиты для разных ее форм, а также форм источников ИИИ, приведены в [10]. Таблицы кратности ослабления гамма-излучения для расчетов толщины защиты представлены в [11], номограммы в [12]. Табличные данные по толщине защиты в зависимости от кратности ослабления и энергии гамма-излучения, необходимые для предварительных расчетов, приведены во многих источниках, например, для свинца в [13].

При проектировании защиты ИИИ в приборах такого класса и работе с ними должны соблюдаться требования следующих документов: [14], [15] и [16]. При разработке защиты ИИИ следует руководствоваться техническими требованиями ГОСТ 18324-73 [16] к блокам ИИИ.

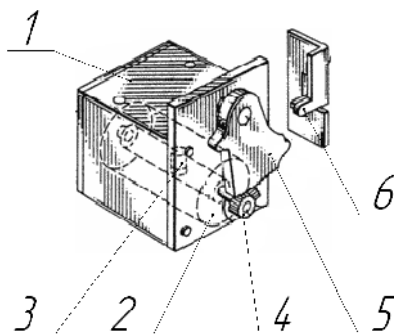
Обеспечение безопасных условий для оператора и окружающих при эксплуатации прибора является важнейшей задачей для разработчиков. Но при этом не менее важной задачей является найти компромисс между размерами и массой защиты с одной стороны и активностью ИИИ с другой, т.к. массогабаритные показатели защиты и активность ИИИ тесно взаимосвязаны. Чем выше активность, тем больше масса защиты, а, следовательно, и ее габариты. В связи с этим актуальной остается задача поиска новых конструктивных решений, позволяющих уменьшить массу и габаритные размеры прибора (массогабаритные характеристики).

Защиту можно наращивать практически до бесконечности. Гамма-излучение не может быть поглощено полностью. Но существуют нормы допустимого уровня радиации. Отсюда ясно, что учитывая активность источника необходимо строить защиту таким образом, чтобы интенсивность допустимого излучения по всем направлениям от ИИИ не превышала допустимых уровней. Т.е., защита должна обеспечивать непревышение допустимых норм ионизирующего излучения во всех направлениях окружающего ее трехмерного пространства. По мнению автора, оптимальная защита должна обеспечивать вдобавок к сказанному еще и одинаковый уровень активности излучения в любой точке своей наружной поверхности, что является необходимым условием снижения массы материала защиты. Это положение должно непременно учитываться при разработке новых приборов.

При разработке существующих приборов этому обстоятельству практически не уделялось внимания - защита ИИИ содержит неоправданно большое количество металла высокой плотности.

В результате проведенного в [18-20] анализа конструкций существующих защитных оболочек устройств, оснащенных ИИИ, установлено, что защитные оболочки для ИИИ в выше перечисленных конструкциях досмотровых приборов как правило, выполнены в виде цилиндров или толстых дисков, которые монтируются в толстостенные П-образные или цилиндрические полые корпуса, из защитного материала - свинца или вольфрама.

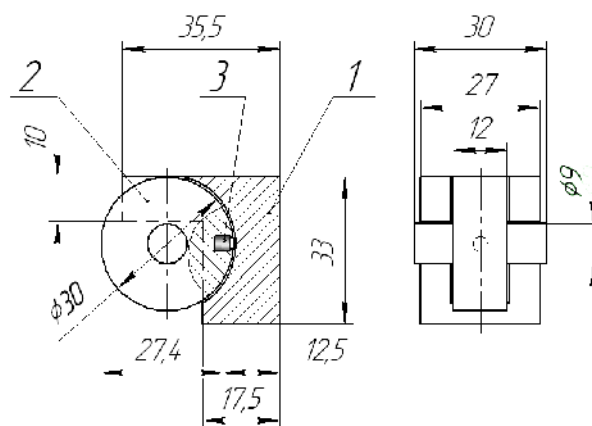
Примером может служить устройство для размещения ИИИ, изображенное на рис.1, приведенное в патенте на ручной детектор контрабанды [20].



1 - корпус; 2 - цилиндр; 3 - ИИИ; 4 - зубчатая передача привода вращения; 5 - собачка; 6 - кнопка.

Рисунок 1 - Устройство для размещения ИИИ

Корпус 1 охватывает цилиндр 2 с ИИИ 3. Зубчатая передача шестеренки 4, жестко связанной с цилиндром 2 и собачки 5 с сегментной зубчатой частью посредством кнопки 6 обеспечивает поворот цилиндра с ИИИ от положения «закрыто» в рабочее положение и обратно.



1 - экран; 2 - толстостенный диск; 3 - ИИИ

Рисунок 2 - защита ИИИ прибора Buster K910B

На приведенном рисунке 2 изображена защита ИИИ прибора Buster K910B, США. Рисунок выполнен автором на основании замеров существующего образца прибора. Прибор содержит встроенный ИИИ Ba133 активностью порядка 370 кБк [1]. Материал защиты вольфрам. Защита состоит из двух частей, экрана 1, выполненного в виде

П-образного неподвижного корпуса и толстостенного поворотного диска оснащенного ИИИ 3. ИИИ находится в закрытом положении против экрана. Его активная часть расположена на расстоянии 12,5 мм от внешней стенки экрана, который обеспечивает необходимое с точки зрения безопасности ослабление излучения. Однако толщина защиты от активной части источника ИИИ в направлении оси вращения составляет более 27 мм. В этом направлении толщина защиты намного больше, чем необходимо. Аналогичная картина наблюдается и для других реально существующих приборов этого класса.

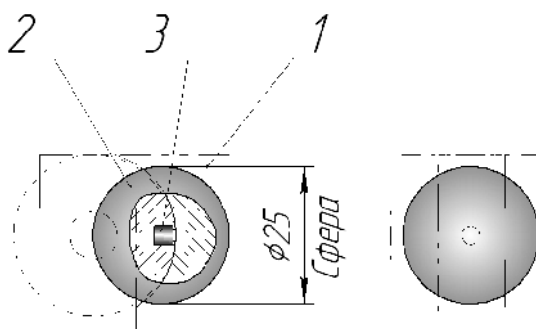
Общий объем материала рассматриваемой защиты составляет 26 см³. При плотности вольфрама 19,3 г/см³ [21], масса защиты соответственно 500 г.

Однако конфигурация должна обеспечивать минимальную толщину защитных экранов. В соответствии с принятым в [22] положением, защита будет сферической (в виде шара), т.е. выполнено условие равноудаленности активной части ИИИ от внешних точек поверхности защиты. Сфера радиусом 12,5 мм выполнена из вольфрама толщиной, приблизительно равной толщине экрана против ИИИ в его исходном положении, изображенного на рис. 1 (исходя из условия, что применяется такой же ИИИ, как в приборе Buster K910B).

На сравнительном рис. 3 изображена разрабатываемая сферическая защита, внутри которого размещен ИИИ. Таким образом, соблюдены условия необходимой толщины для источника данного типа при соблюдении допустимого уровня активности.

В результате наложения проекций, выполненных в одном масштабе, защиты ИИИ прибора Buster K910B 1 и сферической защиты 2 с ИИИ 3 ясно, что защита ИИИ прибора Buster K910B значительно превосходит сферическую по габаритным размерам при тех же параметрах поглощения излучения.

Объем полученной сферы, согласно известной формулы, составит всего 8,18 см³, а масса вольфрама 158 г против 500 г для Buster K910B. Полученный выигрыш по массе более чем в три раза.



1 - защита ИИИ прибора Buster K910B; 2 - сферическая защита;
3 - ИИИ

Рисунок 3 – Защита ИИИ в виде сферы

Естественно, что при проектировании размеры защиты будут зависеть от активности и типоразмера ИИИ. При расчете защитных экранов определяют их материал и толщину, которые зависят от вида излучения.

Что же касается массогабаритных показателей защиты ИИИ, по мнению автора, их следует оценивать по аналогии с изделиями общего машиностроения одного типа, например, однотипными двигателями. Здесь эти показатели характеризуются удельной массой — отношением

массы двигателя к его мощности и габаритной мощностью, т.е. мощностью, приходящейся на единицу объема двигателя.

В таком случае, однотипной защитой от гамма-излучения может считаться защита для ИИИ одного типоразмера с одинаковой активностью встроеного радионуклида.

В этом случае удельную массу защиты можно оценивать как отношение массы защиты к активности источника гамма-излучения. Габаритную активность защиты — как отношение активности к объему, занимаемому защитой.

Удельная масса защиты определяется по формуле $d = \frac{M}{A}$.

Габаритная активность защиты — по формуле $a = \frac{A}{V}$.

В приведенных формулах M — масса защиты; A — активность источника; V — объем, занимаемый защитой.

В системе СИ масса выразится в кг, активность в Бк, объем в м³.

Так для защиты ИИИ прибора Buster K910B, удельная масса составит $d = 1,3 \times 10^{-6}$ кг/Бк. Удельная активность $a = 1,42 \times 10^{10}$ Бк/м³.

Для сферической защиты эти показатели соответственно:

$d = 0,4 \times 10^{-6}$ кг/Бк и $a = 4,52 \times 10^{10}$ Бк/м³.

Таким образом, полученные показатели дают возможность сравнить массогабаритные показатели изделий. Масса защиты, приходящаяся на один беккерель активности ИИИ для сферической защиты более чем втрое меньше чем у прибора Buster K910B, в то время, когда активность на единицу объема почти втрое больше по сравнению с этим же прибором при использовании одинакового ИИИ.

Приведенная методика позволяет давать оценку массогабаритным показателям защиты ИИИ, что является справедливым для защит с источниками одинаковой активности и одного типоразмера.

ВЫВОДЫ

С целью оптимизации формы и размеров защиты ИИИ радиоизотопного прибора автоматизированного досмотрового контроля необходимо:

- рассмотреть возможность снижения активности используемого ИИИ в пределах, допустимых для обеспечения эффективного контроля;
- строить защиту с максимальным приближением к шаровой форме;
- использовать для защиты материалы наиболее высокой плотности;

Такой подход позволяет получить наиболее рациональное использование экранирующего материала защиты и значительно снизить массу и габариты радиоизотопного прибора автоматизированного досмотрового контроля.

SUMMARY

ESTIMATION OF MASS/VOLUME PARAMETERS OF IRS SHIELD IN DEVICE FOR AUTOMATIZE INSPECTION CONTROL

V.P. Litvin

Scientific Research and Project Designing Institute Iskra

E-mail: official@iskra.lugansk.ua

The article is devoted to estimation of mass/volume parameters of a protection device against an ionizing radiation source in small-sized radioisotope devices for automatize inspection control. The work gives a short analysis of constructions of existing shields. It offers a spherical form of the shield. The article gives a comparative calculation of mass/volume characteristics of the protection shields.

Keywords: radioisotope device, gamma radiation, IRS protection, IRS activity, mass/volume parameters.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Buster K910B Contraband Detector [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.sasrad.com/russian/products/buster/principles_of_operation.php
2. RSA133-Merlin 133 Contraband Detector [Электронный ресурс]. - Режим доступа: - <http://lib.store.yahoo.net/lib/yhst-63481493176517/06.pdf>; <http://www.janes.com/articles/Janes-Explosive-Ordnance-Disposal/Merlin133-contraband-detector-United-Kingdom.html>
3. ООО ТАСК-Т Детектор контрабанды ДИП-А01М [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://taskt.ru/equipment/atiterror/pdf/dip-a01m.pdf>
4. RadReflex 2 Portable Contraband Detector Art.-No.: 0400100 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.eodpartner.com/eng/02products/03security/0400100%20Rad%20Reflex%202/0400100_e.pdf
5. Детектор скрытых пустот "Рось - 4М" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.iskra.local/index.php?lang=ru&page=sci-tech-prod/ros4m>; <http://www.sistss.ru/2010-06-23-20-50-53/850----q-4q.html>
6. POLIMASTER/ Устройство поиска неоднородностей УПН-PM1401М-П (Детектор контрабанды) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://polimaster.ru/products/contraband_detector/pm1401t/?print=true&polon_alfa_детектор_контрабанды_pm-1703t [Электронный ресурс]. - Режим доступа: - http://www.polon-alfa.com.pl/ru/index.php?option=com_content&task=view&id=66&Itemid=43
7. Устройство поиска неоднородностей УПН-PM1401М-П (Детектор контрабанды) Полимастер @ Альтаир. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.baz-alt.ru/index.html>.
8. Защита организма от излучений. Большая Советская Энциклопедия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/88315/Защита>
9. Бергельсон Б.Р. Справочник по защите от излучения протяженных источников / Б.Р. Бергельсон, Г.А. Зориков. — Москва: Атомиздат, 1965. — 76 с.
10. Кимель Л.Р., Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник. 2-е изд. — М.: Атомиздат, 1972. — С. 312.
11. Матвеев А.В. Практикум по дозиметрии и радиационной безопасности / Матвеев А. В., Козаченко В. И., Котов В. П.; под ред. А. В. Матвеева. — Санкт-Петербург: ГУАП. — СПб., 2006. — 88 с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.pbaanet.ru/elib/2006/Matv_prakt.pdf
12. Радиоактивность вокруг нас. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://rad-don.narod.ru/spravka/table1.htm>
13. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98 Норми рад ац йно безпеки Укра ни (НРБУ-97): затверджено наказом МОЗ Укра ни в д 14.07.1997 р. 208; введено в д ю постановою Головного державного сан тарного л каря Укра ни в д 01.12.1997 р. 62.
14. ДСП 6.177-2005-09-02. Основн сан тарн правила забезпечення рад ац йно безпеки Укра ни: затверджено наказом МОЗ Укра ни в д 02.02.2005 54; заре стр. в М н'юст Укра ни 20.05.2005 р. за 552/10832.
15. Правила ядерно та рад ац йно безпеки при перевезенн рад оактивних матер ал в (ПБПРМ-2006).
16. ГОСТ 18324-73 Блоки источников ионизирующих излучений для релейных радиоизотопных приборов. Общие технические условия. — М: Издательство стандартов — 1981. — 18 с.
17. Патент Укра ни 81863, G01T7/00, Пристр й для захисту зотопу в рад ометричних приладах / Литвин В.П., Б гвава В.А.; заявник та патентовласник Науково – досл дний та проектно – конструкторський нститут «скра», м. Луганськ. - а 2006 07746, заявл. 10.07.2006; опубл. 10.01.2008, Бюл. 1.
18. Патент Укра ни 62394, G01T7/00, Пристр й захисту зотопу для рад озотопних прилад в / Литвин В.П., Б гвава В.А. Калюжний А.В.; заявник та патентовласник Науково – досл дний та проектно – конструкторський нститут «скра», м. Луганськ. - у 2011 01637, заявл. 14.02.20112; опубл. 25.08.2011, Бюл. 16.
19. United States Patent 5068883, U.S. Class: 250/498.1; 378/197; 378/83; 378/86; 378/88 Hand-held contraband detector / DeHaan; Daniel (San Diego, CA) deLesdernier; David L. (Encinitas, CA), Assignee: Science Applications International Corporation (San Diego, CA).— Appl. No.: 07/522,274; U.S Patent Documents: 4494001, Filed: May 11, 1990; Date of patent: November 26, 1991.
20. Материалы в приборостроении и автоматике: Справочник / [Пятин Ю.М., Чернявская А.М., Владимирский Р.А. и др.]; под ред. Ю.М. Пятина. — [2-е изд.]. — М.: Машиностроение. 1982.—528 с.
21. Пристр й захисту для рад озотопних прилад в. Зареєстровано в державн й служб нтелектуально власност Укра ни. Державне п дпри мство «Укра нський нститут промислово власност ». Регистраційний номер заявки а 2011 04666. Дата подачі 15.04.2011.

Поступила в редакцію 14 мая 2012 г.