

ЯДЕРНАЯ, РАДИАЦИОННАЯ И
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
NUCLEAR, RADIATION AND
ENVIRONMENTAL SAFETY

УДК 539.1.074

<https://doi.org/10.26583/gns-2024-04-03>

EDN IUELMH

Оригинальная статья / Original paper



Особенности и способы защиты от техногенного акустического фона,
влияющего на характер γ -спектров при проведении измерений КГС

Маджидов А.И., С.Е. Улин , А.П. Елохин , А.Е. Шустов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,

г. Москва, Российская Федерация

elokhin@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос влияния техногенного акустического фона на формирование γ -спектра, регистрируемого ксеноновым γ -спектрометром (КГС). Показано, что наличие техногенного акустического фона существенно деформирует спектр, производя уширение пика полного поглощения и уменьшения его амплитуды по сравнению со спектром, полученным при отсутствии акустической нагрузки. Такая деформация пика полного поглощения приведет к заведомо заниженным оценкам параметров радиоактивного загрязнения окружающей среды в условиях радиационных аварий, что, в конечном итоге, приведет к неверным решениям при обеспечении радиационной безопасности персонала и населения, располагающегося вблизи объектов использования атомной энергии, на которых и произошла радиационная авария. Наблюдаемая деформация γ -спектра потребовала защитного покрытия γ -спектрометра пористой резиной, используемой для поглощения акустической нагрузки. Результаты, в целом оказались удовлетворительными, но вес γ -спектрометра и его габариты существенно увеличились. В качестве альтернативной защиты авторы предлагают использовать металлическую капсулу с тонкими стенками, помещая в нее детектор и откачивая из нее воздух, т.е. обеспечивая защиту КГС вместо пористой резины, «вакуумной оболочкой», которая образуется при отсутствии упругой среды — воздуха в капсуле. Подобный метод защиты отличается простотой, доступностью и не требует больших финансовых затрат.

Ключевые слова: техногенный акустический фон, γ -спектр, ксеноновый γ -спектрометр, пик полного поглощения, радиоактивное загрязнение окружающей среды, защитное покрытие, «вакуумная оболочка».

Для цитирования: Маджидов А.И., Улин С.Е., Елохин А.П., Шустов А.Е. Особенности и способы защиты от техногенного акустического фона, влияющего на характер γ -спектров при проведении измерений КГС. Глобальная ядерная безопасность. 2024;14(4):27–33. <https://doi.org/10.26583/gns-2024-04-03>

For citation: Majidov A.I., Ulin S.E., Elokhin A.P., Shustov A.E. Features and methods of protection from anthropogenic acoustic background, influencing the character of γ -spectra during measurements by xenon γ -spectrometer. Global nuclear safety. 2024;14(4):27–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2024-04-03>

Features and methods of protection from anthropogenic acoustic background,
influencing the character of γ -spectra during measurements by xenon γ -spectrometer

Azizbek I. Majidov, Sergey E. Ulin , Alexander P. Elokhin , Alexander E. Shustov

National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russian Federation

elokhin@yandex.ru

Abstract. The paper considers the influence of an anthropogenic acoustic background on the formation of the γ -spectrum recorded by a xenon γ -spectrometer. The presence of an anthropogenic acoustic background is shown to deform the spectrum significantly producing a broadening of the total absorption peak and a decrease in its amplitude compared to the spectrum obtained in the absence of acoustic load. Such deformation of the total absorption peak will lead to deliberately underestimated assessments of the parameters of radioactive contamination of the environment in conditions of radiation accidents, which will ultimately lead to wrong decisions in ensuring radiation safety of personnel and population located near nuclear facilities where the radiation accident occurred. The observed deformation of the

γ -spectrum required a protective covering of the γ -spectrometer with porous rubber used to absorb the acoustic load. The results were generally satisfactory, but the weight of the γ -spectrometer and its dimensions increased significantly. As an alternative protection the authors propose to use a metal capsule with thin walls, placing the detector in it and pumping out the air from it, i.e. providing the xenon γ -spectrometer protection instead of porous rubber, «vacuum shell» which is formed in the absence of an elastic medium – air in the capsule. This method of protection is characterised by simplicity, accessibility and does not require large financial outlays.

Keywords: anthropogenic acoustic background, γ -spectrum, xenon γ -spectrometer, total absorption peak, radioactive contamination of the environment, protective coating, «vacuum shell».

При проведении исследований, связанных с радиоактивным загрязнением окружающей среды, оценка спектрального состава γ -излучения, осевшего на подстилающую поверхность, является одной из главных частей работы. Она позволяет определить вид радионуклида и, соответственно, его период полураспада $T_{1/2}$, а измерение величины активности подстилающей поверхности дает оценку уровня ее радиоактивного загрязнения, в соответствии с которым могут быть приняты решения, определяемые нормативными документами (НРБ-99/2009)¹.

В условиях радиационных аварий, да и в случае случайного радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности [1], целесообразно проводить указанные измерения без непосредственного контакта с радиоактивной средой, что оказывается возможным при использовании радиуправляемого беспилотного дозиметрического комплекса (далее – БДК) [2, 3], состоящего из ксенонового γ -спектрометра (КГС) высокого давления [4], детектора γ -излучения, видеокамеры, детектора определения высоты полета блоков питания и приемо-передающего информацию устройства [3]. Оператор управления БДК и дозиметрист располагаются в чистой зоне, управляя аппаратом без непосредственного контакта с радиоактивной загрязняющей средой.

Выбор ксенонового γ -спектрометра в качестве основного спектрометрического оборудования определяется его уникальными техническими характеристиками: достаточно высоким разрешением γ -спектра (1,2 %

по линии ^{137}Cs), широким температурным диапазоном работы (от -20°C до $+180^\circ\text{C}$), не требующим низких температур. Высокая разрешающая способность этого γ -спектрометра обусловлена высоким (до 30 - 40 ат.) давлением газа, т.е. высокой плотностью ρ $^{131}\text{Xe}_{54}$ высокой очистки, и достаточно высоким атомным номером ($Z = 54$), что и обеспечивает высокую ионизационную способность среды.

К недостаткам спектрометра можно отнести достаточно большие габариты и газовую среду, служащую рабочим телом этого γ -спектрометра. Уменьшение габаритов несколько ухудшает энергетическое разрешение, а вот изменение характеристик газовой среды приводит к существенному изменению регистрируемых спектров γ -излучения [5]. Суть этого замечания сводится к тому, что, как показывают эксперименты, энергетическое разрешение ксенонового γ -спектрометра оказывается весьма чувствительным к воздействию внешней акустической нагрузки, действующей одновременно с проведением γ -спектрометрических измерений, т.е. при воздействии на КГС звуковой нагрузки различного уровня [5,6]. Как показано в этих работах синхронное воздействие акустической нагрузки и при измерении гамма спектра радионуклидов приводит к существенному ухудшению спектральных характеристик в зависимости от уровня последней (дБ). В работе [5] приводится теоретическое обоснование этого эффекта, в объеме газа КГС при указанных воздействиях, а в работе [6], кроме того, приведены и результаты измерений (рис. 1,2). На рисунке 1 приводится вид γ -спектра ^{137}Cs при акустической нагрузке, равной 40 дБ (1) и 120 дБ (2), а на рисунке 2 – спектры ^{137}Cs и ^{60}Co при аналогичных нагрузках. Первый пик в области

¹ Нормы радиационной безопасности НРБ –99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523 – 09. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170553?marker=656010>

низких энергий соответствует энергии γ -излучения обратного рассеяния ($E_{обр} = 0,184$ МэВ), затем идет спад за счет комптоновского рассеяния и, наконец, регистрируется пик полного поглощения, по энергетическому положению которого и идентифицируется этот радионуклид ($E_{Cs} = 0,661$ МэВ).

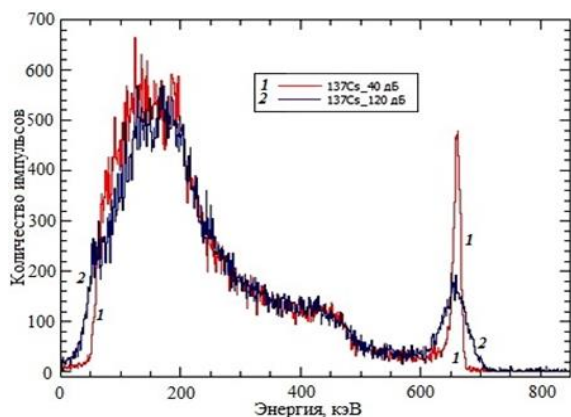


Рисунок 1. Гамма-спектр источника ^{137}Cs с монитора оператора при естественном шумовом фоне, составляющем 40 дБ (1) и внешней акустической нагрузке в 120 дБ (2) [7]

Figure 1. Gamma spectrum of the ^{137}Cs source from the operator's monitor with a natural noise background of 40 dB (1) and an external acoustic load of 120 dB (2) [7]

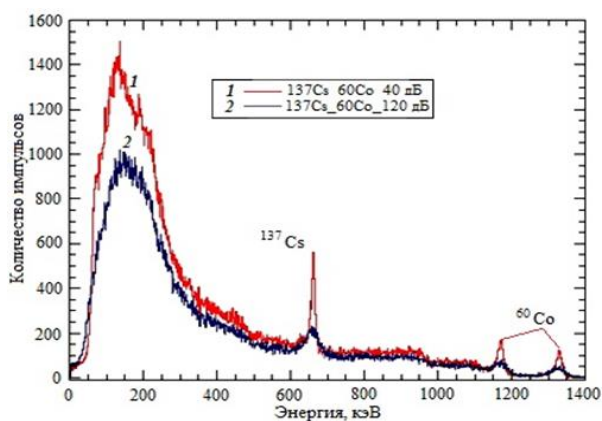


Рисунок 2. Спектры ^{137}Cs и ^{60}Co при шуме 40 дБ (1) и акустической нагрузке 120 дБ (2) [7]

Figure 2. ^{137}Cs and ^{60}Co spectra at 40 dB noise (1) and 120 dB acoustic load (2) [7]

Нетрудно заметить, что воздействие акустики при измерении спектров КГС, приводит к уширению пиков полного поглощения и уменьшения их амплитуды, характерной для условий низкофоновых воздействий акустики, т.е. своеобразной «усадке» спектров. Анализ результатов эксперимента, а также результатов расчета, проведенных в предыдущих работах авторов [5,6], опреде-

ляющих концентрацию носителей заряда (электронов) в КГС при воздействии акустической нагрузки, свидетельствуют о том, что ее воздействие приводит к перераспределению концентрации носителей заряда в процессе их переноса, что, по-видимому, приводит к росту внутреннего сопротивления газовой среды в результате ее возмущения или за счет вновь возникающего эффекта рекомбинации ионов и электронов, который также может быть обусловлен акустическим возмущением, уменьшая, таким образом, концентрацию носителей заряда, участвующих в их проводимости, т.е. формировании регистрируемого спектра. На это и указывает уменьшение амплитуды пиков полного поглощения (см. рис. 1, 2), их уширение и явное уменьшение низкоэнергетической области комптоновского распределения (см. рис. 2).

На рисунке 3 приведены γ -спектры ^{137}Cs при различной величине акустического шума, которые наглядно демонстрируют указанные особенности воздействия последнего, на формирование γ -спектров, регистрируемых КГС без экранирования его поверхности защитной оболочкой. Источником акустической нагрузки служил генератор шума, усиленный микрофоном.

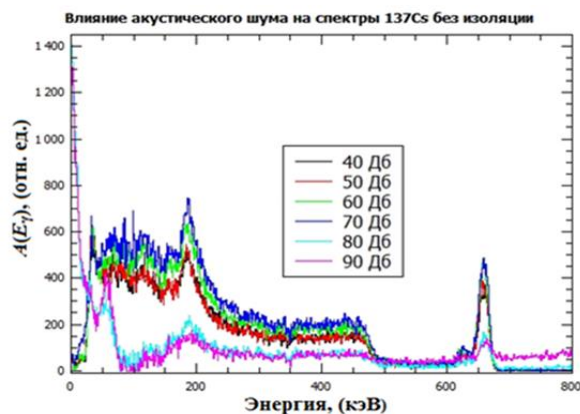


Рисунок 3. Влияние акустического шума на γ -спектры источника ^{137}Cs при различной акустической нагрузке

Figure 3. Influence of acoustic noise on γ -spectra of ^{137}Cs source at different acoustic loading

В рекомендациях одной из работ авторов [6] было замечено, что от этого нежелательного эффекта можно избавиться путем экранирования поверхности КГС микропористой резиной, используемой для шумопо-

глощения. Действительно, обволакивая цилиндрическую поверхность КГС слоем такой микропористой резины и проводя подобные измерения γ -спектра, удалось получить более детальную картину указанного эффекта.

Результаты эксперимента без защитной оболочки, представленные в виде зависимости «Энергетического разрешения $\Delta E/E$, %» как функции акустической нагрузки «Шум» в дБ на рисунке 4, а на рисунке 5 приведена зависимость « $\Delta E/E$, %» как функции акустической нагрузки «Шум» в дБ с защитной оболочкой в виде пористой резины однослойного покрытия (1), с покрытием резиной и поролоном (2) и просто одним слоем поролона (3). Аббревиатура ПШПВ в % означает отношение полуширины пика полного поглощения ΔE на полувысоте его пика к измеряемой энергии E при различной акустической нагрузке.

Усадка спектра при воздействии акустической нагрузки, как было ранее установлено, приводит к уменьшению амплитуды пика полного поглощения и его уширению, но положение его энергии остается прежним, поэтому с увеличением акустической нагрузки (шума) в единицах дБ отношение $\Delta E/E$ будет расти за счет увеличения ΔE , что и демонстрируют графики на рисунках 4 и 5.

Неожиданным оказалась избирательность защитной оболочки из пористой резины на уровни шума в 50 и 80–90 дБ, но общая тенденция влияния акустического воздействия на формирование γ -спектра в подобных условиях, сводится к тому, что с ростом акустической нагрузки спектральное разрешение $\Delta E/E$ увеличивается с ростом шума дБ (рис. 5). Возможно эти особенности связаны с размером микропор в резине, сформировавшихся в результате технологического процесса ее изготовления, тогда этот вопрос можно решить путем увеличения толщины защитной оболочки или путем комбинации материалов защиты, хорошо работающих в определенных диапазонах уровней акустической нагрузки (дБ).

Результаты измерений γ -спектра с увеличением толщины акустической защиты приведены на рисунке 6.

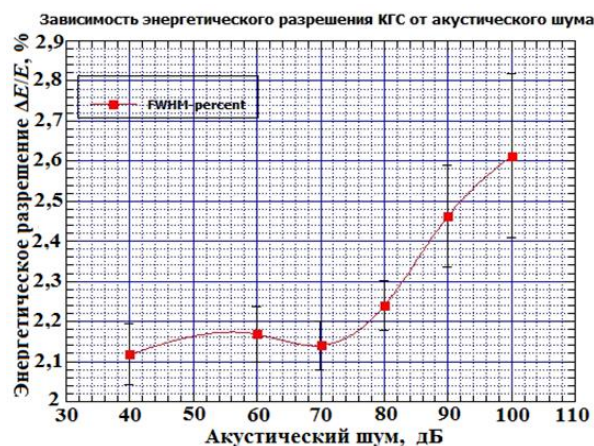


Рисунок 4. Энергетическое разрешение $\Delta E/E$ регистрируемого спектра ^{137}Cs в зависимости от акустического шума (без защитной оболочки)
Figure 4. Energy resolution $\Delta E/E$ of the recorded ^{137}Cs spectrum as a function of acoustic noise (without shielding)

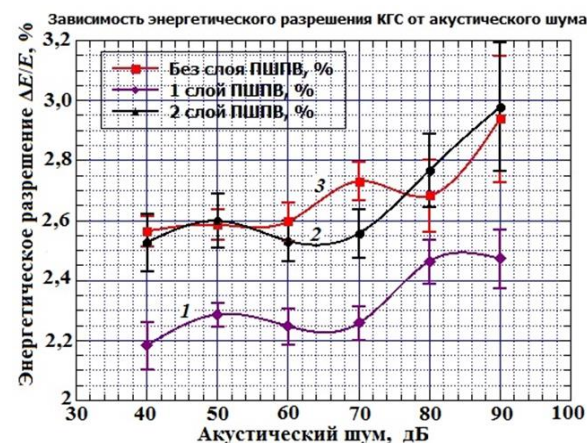


Рисунок 5. Энергетическое разрешение $\Delta E/E$ регистрируемого спектра ^{137}Cs в зависимости от акустической нагрузки с (защитной оболочкой) в виде пористой резины однослойного покрытия (1), с покрытием резиной и поролоном (2) и просто одним слоем поролона (3)
Figure 5. Energy resolution $\Delta E/E$ of the recorded ^{137}Cs spectrum as a function of acoustic loading with (protective shell) in the form of porous rubber single-layer coating (1), with rubber and foam coating (2) and just one layer of foam (3)

Из представленных графиков следует, что чувствительность γ -спектрометра ухудшается при воздействии акустической нагрузки, что и следовало ожидать. Однако, сравнивая кривые 3 на рисунках 5 и 7, следует констатировать, что поролон не оказывает какого-либо заметного защитного свойства.

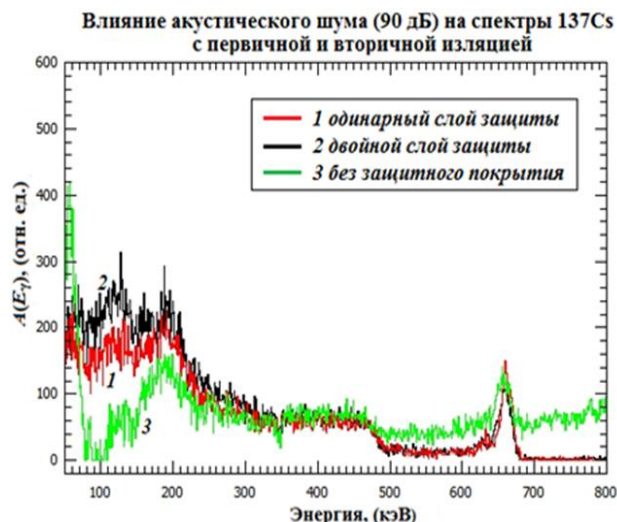


Рисунок 6. Энергетическое разрешение $\Delta E/E$ регистрируемого спектра ^{137}Cs в зависимости от акустического шума с увеличенной толщиной защитной оболочки

Figure 6. Energy resolution $\Delta E/E$ of the recorded ^{137}Cs spectrum as a function of acoustic noise with increased thickness of the protective shell

При использовании однослойной и двухслойной защиты, состоящей из пористой резины, в области пика различие слабо заметно, но в области комптоновского распределения оно хорошо наблюдается – с ростом толщины акустической защиты чувствительность КГС возрастает. Нетрудно заметить, сравнивая кривые 2 и 1 на рисунке 7, что увеличение толщины акустической защиты действует в нужном направлении: энергетическое разрешение ($\Delta E/E$) во всей области акустической нагрузки становится меньше, а характеристики пика – значительно лучше, но, с другой стороны, увеличивается и вес детектора КГС, что представляет собой негативную сторону выбранного решения.

Альтернативное решение защиты КГС от акустической нагрузки состоит в использовании вакуумной прослойки в качестве защитной оболочки. Действительно, помещая КГС в металлическую капсулу, размеры которой выбираем несколько больше, чем габариты КГС, и откачивая из капсулы воздух, мы, таким образом, создаем вакуумную защитную оболочку, вес которой (капсулы) можно выбрать меньше веса двуслойного резинового покрытия.

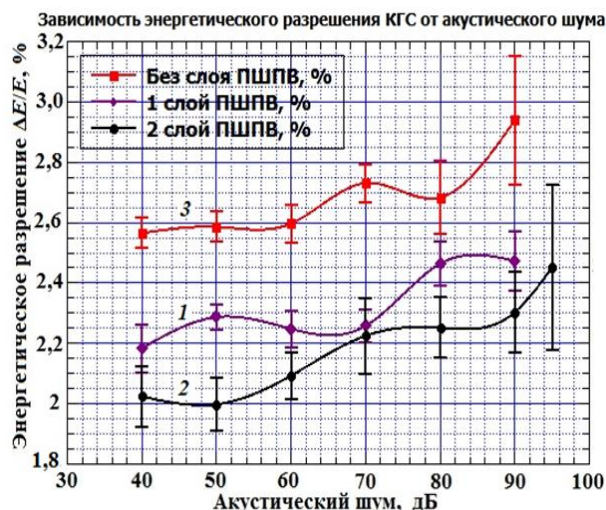


Рисунок 7. Энергетическое разрешение $\Delta E/E$ регистрируемого спектра ^{137}Cs в зависимости от акустического шума с защитными оболочками, состоящими из: одной (1), двумя (2) пористой резины и без защитной оболочки (3)

Figure 7. Energy resolution $\Delta E/E$ of the recorded ^{137}Cs spectrum as a function of acoustic noise with protective covers consisting of: one (1), two (2) porous rubber and without protective cover (3)

Поскольку распространение звука может происходить только в упругой среде (воздухе, жидкости и т.д.) [7], то отсутствие в капсуле воздуха однозначно указывает на невозможность проникновения звуковой волны через подобную защитную оболочку, но не мешает проходить потоку γ -излучения при измерении его спектрального состава, однако это утверждение, хотя и обоснованное соответствующей ссылкой, тем не менее требует экспериментальной проверки.

Таким образом, универсальным средством поглощения акустической нагрузки, действующей на КГС при проведении γ -спектрометрических измерений может служить дополнительное устройство в виде вакуумной камеры с тонкими стенками, в которую следует помещать ксеноновый γ -спектрометр, и откачивать из нее воздух, обеспечивая защиту КГС вместо пористой резины, «вакуумной оболочкой», которая образуется при отсутствии упругой среды – воздуха в капсуле. Немаловажно, что подобный метод защиты отличается простотой, доступностью и не требует больших финансовых затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Родионов И.А., Елохин А.П. Методы оценки радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности при использовании беспилотного дозиметрического комплекса. *Глобальная ядерная безопасность*. 2022;12(1):6–23. <https://doi.org/10.26583/gns-2022-01-01>

Rodionov I.A., Elokhin A.P. Methods of assessing radioactive contamination of underlying surface using unmanned dosimeter system. *Global nuclear safety*. 2022;12(1):6–23. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2022-01-01>

2. Елохин А.П., Рау Д.Ф., Пархома П.А. Способ дистанционного определения концентрации радионуклидов в воздушном выбросе радиационно-опасных предприятий и устройство его осуществления. Федеральный институт промышленной собственности России. Патент № 2299451. 2006. Бюл. №14 (III ч.). С. 604–605. Режим доступа: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=RU29480748> (дата обращения 30.08.2023).

3. Елохин А.П., Жилина М.В., Рау Д.Ф., Пархома П.А. Способ дистанционного измерения загрязнения радионуклидами подстилающей поверхности в следе радиоактивного выброса радиационно-опасных предприятий и система для его осуществления. Федеральный институт промышленной собственности России. Патент № 2388018. 2010. Бюл. №12 (IV ч.). С. 947. Режим доступа: <https://www.freepatent.ru/patents/2388018> (дата обращения 30.08.2023).

4. Улин С.Е., Дмитренко В.В., Грачев В.М. и др. Гамма-спектрометры на сжатом ксеноне для обнаружения и идентификации радиоактивных и делящихся материалов. *Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ*. 2010;114:43–50. Режим доступа: <https://jurnal.vniiem.ru/text/114/43.pdf> (дата обращения 03.09.2023).

Ulin S.E., Dmitrenko V.V., Grachev V.M., etc. Compressed xenon gamma-ray spectrometers for the detection and identification of radioactive and fissile materials. *Electromechanical matters. VNIIEEM studies*. 2010;114:43–50. (In Russ.). Available at: <https://jurnal.vniiem.ru/text/114/43.pdf> (accessed: 03.09.2023).

5. Елохин А.П., Улин С.Е., Маджидов А.И., Рахматулин А.Б., Шустов А.Е. Влияния техногенного акустического фона на показания ионизационной камеры при регистрации γ -излучения. Сборник научных статей по материалам XXXV Всероссийской научно-технической конференции XXXV Всероссийская международная научно-техническая конференция (ПАУТС–2023), 17–19 октября. 2023. Пенза Издательство ПГУ. 2023. Т.1. С. 129–141.

6. Елохин А.П., Улин С.Е., Маджидов А.И., Шустов А.Е. Оценка влияния техногенного акустического фона на показания γ -спектрометра при регистрации спектров γ -излучения. *Глобальная ядерная безопасность*. 2024;14(1):5–16. <https://doi.org/10.26583/gns-2024-01-01>

Elokhin A.P., Ulin S.E., Majidov A.I., Shustov A.E. Assessment of technogenic acoustic background influence on γ -spectrometer readings at registration of γ -radiation spectra. *Global nuclear safety*. 2024;14(1):5–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2024-01-01>

7. Лепендин Л.Ф. Акустика. Москва: Высшая школа, 1978. 448 с. Режим доступа: <https://alexandr4784.narod.ru/lependin.html> (дата обращения: 30.08.2024).

Lependin L.F. Acoustics. Moscow: Higher School. 1978, 448 p. (In Russ.). Available at: <https://alexandr4784.narod.ru/lependin.html> (accessed: 30.08.2024).

ВКЛАД АВТОРОВ:

Маджидов А.И. – проведение эксперимента;
Улин С.Е. – постановка задачи, редактирование текста и участие в проведении эксперимента;
Елохин А.П. – написание статьи, математическая реализация решения задачи, участие в проведении эксперимента;
Шустов А.Е. – проведение эксперимента.

AUTHORS' CONTRIBUTION:

Majidov A.I. – conducting an experiment;
Ulin S.E. – setting the problem, editing the text, and participating in the experiment;
Elokhin A.P. – writing a paper, mathematical implementation of the problem solution, participation in the experiment;
Shustov A.E. – conducting an experiment.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Авторы заявляют об отсутствии источников финансирования.

FUNDING:

The authors state that there are no sources of funding.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST:

No conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Азизбек Истамович Маджидов, аспирант, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Российская Федерация.
Александр Прокопьевич Елохин, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Azizbek I. Majidov, The post-graduate student, National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russian Federation
Alexander P. Elokhin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Associate Member of Russian Academy of Natural

ядерный университет «МИФИ», член-корреспондент
РАЕ, г. Москва, Российская Федерация.

<http://orcid.org/0000-0002-7682-8504>

WoS ResearcherID: F-9573-2017

e-mail: elokhin@yandex.ru

Сергей Евгеньевич Улин, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Российская Федерация.

<https://orcid.org/0000-0001-6737-7070>

e-mail: seulin@gmail.com

Александр Евгеньевич Шустов, старший преподаватель, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Российская Федерация.

<https://orcid.org/0000-0001-9795-3753>

e-mail: aeshustov@mephi.ru

History, National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russian Federation.

<http://orcid.org/0000-0002-7682-8504>

WoS ResearcherID: F-9573-2017

e-mail: elokhin@yandex.ru

Sergey E. Ulin, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russian Federation.

<https://orcid.org/0000-0001-6737-7070>

e-mail: seulin@gmail.com

Alexander E. Shustov, Senior Lecturer, National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russian Federation.

<https://orcid.org/0000-0001-9795-3753>

e-mail: aeshustov@mephi.ru

Поступила в редакцию / Received 23.09.2024

После доработки / Revised 02.12.2024

Принята к публикации / Accepted 05.12.2024