



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01T 1/208 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020140985, 11.12.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.12.2020

Дата регистрации:
22.06.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.12.2020

(45) Опубликовано: 22.06.2021 Бюл. № 18

Адрес для переписки:

119234, Москва, ул. Ломоносовский проспект,
27, строение 1, Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова, Фонд
"Национальное интеллектуальное развитие"

(72) Автор(ы):

Трофимов Юрий Алексеевич (RU),
Суздаев Сергей Евгеньевич (RU),
Цавро Дмитрий Юрьевич (RU),
Мадьяров Андрей Владимирович (RU),
Яхненко Дмитрий Валентинович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
«ПОЛИТЕХФОРМ-М» (ООО
«ПОЛИТЕХФОРМ-М») (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2646542 C1, 05.03.2018. RU 152171
U1, 10.05.2015. RU 136591 U1, 10.01.2014. US
2019137634 A1, 09.05.2019.

(54) ПОИСКОВЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР

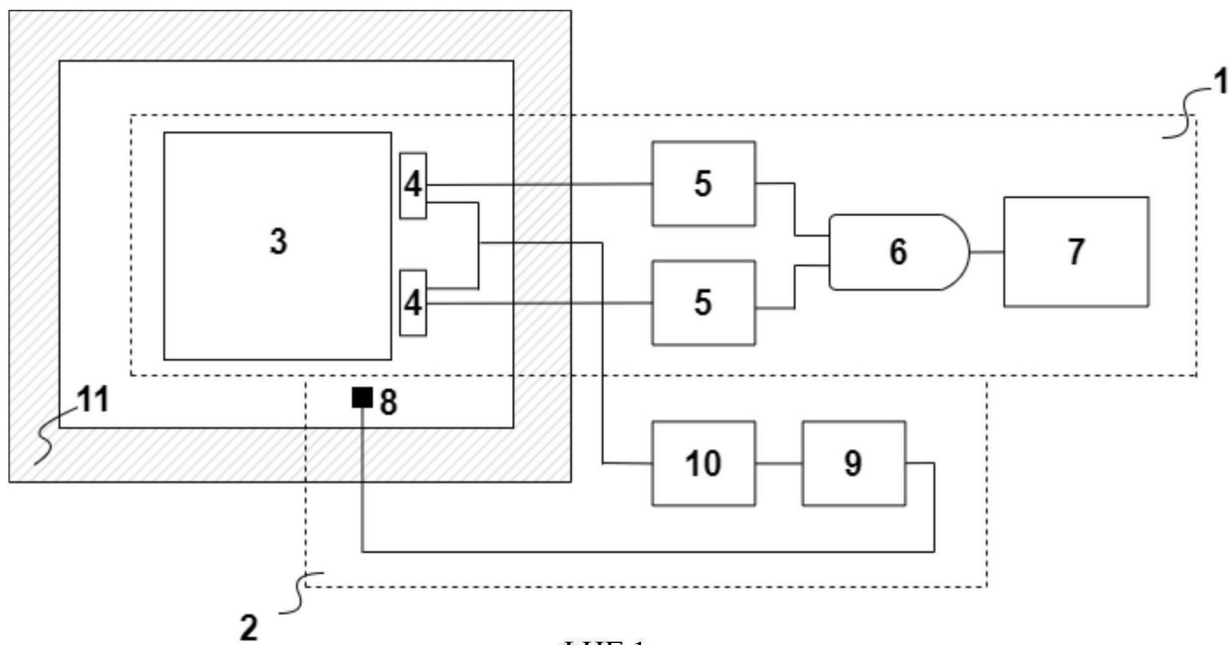
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерению рентгеновского и гамма-излучения. Поисковый сцинтилляционный детектор гамма-излучения дополнительно содержит второй фотоприемник, оптически соединенный со сцинтилляционным кристаллом, второй усилитель-формирователь сигнала, соединенный со вторым фотоприемником, а также схему совпадений импульсов сигналов с фотоприемников по времени. Управляющее устройство блока компенсации температурной зависимости выполнено с возможностью преобразования

данных с датчика температуры в управляющее напряжение, поступающее на источник питания фотоприемников, по нелинейному закону. Сцинтилляционный кристалл, фотоприемники и датчик температуры размещены в термостате. Технический результат – обеспечение работоспособности и стабильности показаний детектора гамма-излучения, выполненного на основе сцинтилляционного кристалла и Si-ФЭУ в качестве фотоприемника в широком диапазоне температур окружающей среды - от минус 65°C до плюс 70°C. 6 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2 750 130 C1

RU 2 750 130 C1



ФИГ.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11)**2 750 130** (13) **C1**(51) Int. Cl.
G01T 1/208 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC
G01T 1/208 (2021.02)(21)(22) Application: **2020140985, 11.12.2020**(24) Effective date for property rights:
11.12.2020Registration date:
22.06.2021

Priority:

(22) Date of filing: **11.12.2020**(45) Date of publication: **22.06.2021** Bull. № 18

Mail address:

119234, Moskva, ul. Lomonosovskij prospekt, 27,
stroenie 1, Moskovskij gosudarstvennyj universitet
imeni M.V. Lomonosova, Fond "Natsionalnoe
intellektualnoe razvitie"

(72) Inventor(s):

**TROFIMOV Iurii Alekseevich (RU),
SUZDALEV Sergei Evgenevich (RU),
TsAVRO Dmitrii Iurevich (RU),
MADIAROV Andrei Vladimirovich (RU),
IaKhNENKO Dmitrii Valentinovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennostiu
«POLITEKhFORM-M» (OOO
«POLITEKhFORM-M») (RU)**

(54) **SEARCH SCINTILLATION DETECTOR OF GAMMA RADIATION FOR OPERATION IN WIDE TEMPERATURE RANGE**

(57) Abstract:

FIELD: X-ray and gamma radiation measurement.

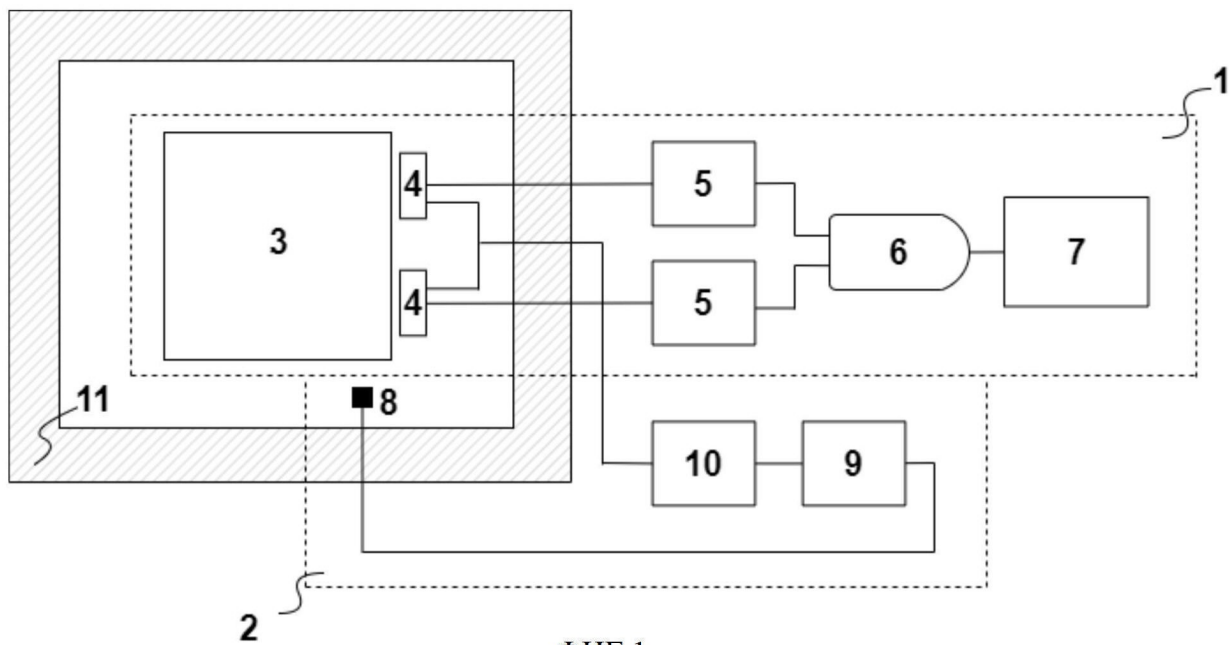
SUBSTANCE: invention relates to X-ray and gamma radiation measurement. The search scintillation detector of gamma radiation additionally contains a second photodetector optically connected to the scintillation crystal, a second signal amplifier-shaper connected to the second photodetector, as well as a scheme for matching the pulses of signals from the photodetectors in time. The control device of the temperature dependence compensation unit is designed to convert data from the temperature sensor into the

control voltage supplied to the power source of the photodetectors, according to the nonlinear law. The scintillation crystal, photodetectors, and temperature sensor are placed in the thermostat.

EFFECT: ensuring the operability and stability of the readings of the gamma-ray detector, made on the basis of a scintillation crystal and Si photomultiplier as a photodetector in a wide range of ambient temperatures - from minus 65°C to plus 70°C.

7 cl, 2 dwg

C1
2750130
RURU
2750130
C1



ФИГ.1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к измерению рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне 50...3000 кэВ, а именно, к детекторам на основе сцинтилляционных кристаллов, и может быть использовано для радиационного контроля окружающей среды, для поиска и обнаружения источников ионизирующего излучения в условиях воздействия широкого диапазона температур.

Уровень техники

Задачи радиационного контроля окружающей среды, поиска и обнаружения источников ионизирующего излучения в часто требуют применения носимых средств контроля, способных проводить измерения с высокой точностью в условиях экстремально низких и/или высоких температур.

Известно множество устройств для поиска и обнаружения источников ионизирующего излучения, в частности, детектор гамма-излучения БДКГ-03 производства ООО «Радек» [[URL: https://www.radek.ru/product/Intellektualnye-bloki-detektirovaniya/32/](https://www.radek.ru/product/Intellektualnye-bloki-detektirovaniya/32/)], детектор БДКГ-201М производства НПУП «АТОМТЕХ» [НПУП «АТОМТЕХ» Приборы и технологии для ядерных измерений и радиационного контроля, каталог продукции, [URL: https://atomtex.com/sites/default/files/catalogue_ru.pdf](https://atomtex.com/sites/default/files/catalogue_ru.pdf)], детектор М44-2 производства «Ludlum Measurements» [Ludlum model 44-2 gamma scintillator, Feb 2018, [URL: https://ludlums.com/images/product_manuals/M44-2.pdf](https://ludlums.com/images/product_manuals/M44-2.pdf)] и многие другие. У подобных устройств есть существенный недостаток: в качестве фотоприемника сцинтилляционных импульсов в них используется вакуумный фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), требующий питания высоковольтным напряжением (порядка 1000 В). Кроме того, данные устройства имеют увеличенные массо-габаритные параметры блоков детектирования из-за относительно больших размеров ФЭУ (как правило, Ø30×100 мм), что может критически сказываться на их применении в качестве носимых средств контроля.

Известны детекторы гамма-излучения, в которых устраняются указанные выше недостатки путем использования в них в качестве фотоприемников компактных кремниевых фотоэлектронных умножителей (Si-ФЭУ), требующих для своей работы напряжение питания около 30В.

Однако кремниевый фотоэлектронный умножитель характеризуется зависимостью коэффициента усиления от температуры окружающей среды и резким ростом его шумовой характеристики в области температур выше +40°C [Piatek S. Effects of temperature on the gain of a SiPM, [URL: https://www.hamamatsu.com/](https://www.hamamatsu.com/)], [SensL Introduction to SiPM Technical Note, rev. 2011, [URL: http://sensl.com/](http://sensl.com/)], что ограничивает возможность его применения в составе поисковых детекторов источников ионизирующего излучения.

Кроме того, известны детекторы гамма-излучения с использованием сцинтилляционных кристаллов на основе CsI(Tl) и NaI(Tl). Однако при работе данных детекторов наблюдается изменение формы световой вспышки при изменении температуры, что приводит к нелинейной температурной зависимости амплитуды сцинтилляционных импульсов и, соответственно, к снижению точности измерения. [Grodzicka M. et al. Characterization of CsI:Tl at a wide temperature range (-40°C to +22°C), 2013, *NIM-A*, 707, P. 73-79], [Ianakiev K.D. et al. Temperature behavior of NaI(Tl) scintillation detectors, 2009, *NIM-A*, 607, P. 432-438].

В случае поисковых детекторов гамма-излучения описанные эффекты критически сказываются при работе с источниками ионизирующего излучения, излучающими в рентгеновском диапазоне, такими как Am₂₄₁, излучающем фотоны энергией 59,5кэВ. Фотоны рентгеновского диапазона в сцинтилляционном детекторе характеризуются сигналом малой амплитуды, немногим превышающим порог регистрации прибора,

находящийся, как правило, в диапазоне 30-50 кэВ. Поэтому, зависимость характеристик сцинтилляционного кристалла и фотоприемника от температуры может приводить к потере чувствительности детектора к низкоэнергичному излучению в условиях низких и/или высоких температур. Также в случае повышенных температур амплитуда шумовых сигналов от фотоприемников типа Si-ФЭУ может превышать порог регистрации, что приводит к ложному возрастанию скорости счета детектора, и, как следствие, к потере им работоспособности.

Из описания к патенту на полезную модель RU 163078 известен детектор гамма-излучения для регистрации источника ионизирующего излучения, включающий Si-ФЭУ в качестве фотоприемника, сцинтилляционный кристалл, источник питания, преобразователь высокого напряжения, питающий посредством схемы подачи напряжения смещения на детекторный модуль, и преобразователь низкого напряжения, питающий компаратор, контроллер, блок индикации, блок температурного контроля, блок контроля питания и блок включения. Данное устройство компенсирует температурную зависимость формы сцинтилляционных импульсов с помощью схемотехнических решений, но не учитывает изменение их амплитуды. К недостаткам данного спектрометра также можно отнести отсутствие средств компенсации роста шумовой характеристики фотоприемника в области высоких температур.

Наиболее близким к заявляемому решению является детектор гамма-излучения по патенту на изобретение RU 2646542, использующий Si-ФЭУ в качестве фотоприемника в одной из своих реализаций, содержащий сцинтилляционный кристалл CsI(Tl) или NaI (Tl), датчик температуры сцинтилляционного кристалла, линейный усилитель сигнала, процессор детекторных импульсов и контроллер в качестве управляющего и счетного устройства. В данном устройстве температурная зависимость может компенсироваться с учетом показаний датчика температуры, расположенного в блоке регистрации гамма-излучения, с помощью изменения напряжения смещения, подаваемого на фотоприемник. К недостаткам данного устройства можно отнести отсутствие учета нелинейной температурной зависимости амплитуды сцинтилляционных импульсов и отсутствие средств, обеспечивающих работоспособность детектора в области повышенных температур.

Перечисленные недостатки всех описанных выше устройств делают их не применимыми для работы в широком температурном диапазоне, характерном для задач радиационного контроля окружающей среды.

Технической проблемой является создание поискового сцинтилляционного детектора, пригодного для работы в широком диапазоне температур (от - 65 до + 70°C) в составе носимого оборудования радиационного контроля окружающей среды.

Раскрытие сущности изобретения

Технический результат заключается в обеспечении работоспособности и стабильности показаний детектора гамма-излучения, выполненного на основе сцинтилляционного кристалла и Si-ФЭУ в качестве фотоприемника, в широком диапазоне температур окружающей среды - от минус 65°C до плюс 70°C.

Технический результат достигается за счет использования в детекторе усовершенствованного блока регистрации гамма-излучения, включающего пару идентичных кремниевых фотоприемников Si-ФЭУ, оптически соединенных со сцинтилляционным кристаллом, пару идентичных усилителей-формирователей, подключенных к фотоприемникам, и схему совпадений. Сигналы с фотоприемников при превышении заданного порога по амплитуде независимо преобразуются в прямоугольные импульсы в двух идентичных усилителях-формирователях, после чего

поступают в схему совпадений, которая, в случае совпадения сигналов по времени, генерирует импульс, регистрируемый счетным устройством. Данная схема позволяет компенсировать возрастание шумовой характеристики фотоприемников в области высоких температур, исключая из регистрации шумовые сигналы, расширяя температурный рабочий диапазон детектора благодаря тому, что шумовые сигналы возникают в двух фотоприемниках в случайные моменты времени независимо друг от друга и не пропускаются схемой совпадений. Технический результат достигается также за счет использования в детекторе усовершенствованного блока компенсации температурной зависимости, включающего датчик температуры, измеряющего температуру кристалла и фотоприемников, при этом датчик температуры подключен к управляющему устройству, выполненному с возможностью преобразования сигнала с датчика температуры по нелинейному закону в управляющее напряжение источника питания, который, изменяя напряжение на фотоприемнике Si-ФЭУ, стабилизирует показания детектора при изменении температуры. Сцинтилляционный кристалл с фотоприемниками и датчиком температуры изолированы от внешней среды с помощью оболочки из вспененного полимера - термостата, предотвращающего их повреждение при резком изменении температуры внешней среды, что также положительно сказывается на точности показаний детектора.

Указанный результат достигается тем, что поисковый сцинтилляционный детектор гамма-излучения содержит размещенные в корпусе блок регистрации гамма-излучения, включающий сцинтилляционный кристалл, оптически соединенный с фотоприемником, подключенным к усилителю-формирователю сигнала, а также счетное устройство гамма-квантов; и блок компенсации температурной зависимости, включающий последовательно соединенные датчик температуры, управляющее устройство, источник питания; при этом источник питания блока компенсации температурной зависимости соединен с фотоприемником блока регистрации гамма-излучения. При этом блок регистрации гамма-излучения содержит второй фотоприемник, оптически соединенный со сцинтилляционным кристаллом, второй усилитель-формирователь сигнала, соединенный со вторым фотоприемником, а также схему совпадений импульсов сигналов с фотоприемников по времени, выход которой соединен с входом счетного устройства. Первый и второй усилители-формирователи сигнала параллельно подключены к соответствующим входам схемы совпадений. Управляющее устройство блока компенсации температурной зависимости выполнено с возможностью преобразования данных с датчика температуры в управляющее напряжение, поступающее на источник питания фотоприемников, по нелинейному закону. Также сцинтилляционный кристалл, фотоприемники и датчик температуры размещены в термостате, выполненном с возможностью защиты кристалла от перепада температур.

Кроме того, фотоприемники представляют собой кремниевые фотоэлектронные умножители (Si-ФЭУ).

Кроме того, термостат выполнен из вспененного полиэтилена толщиной не менее 5 мм.

Результат также достигается тем, что термостат выполнен с возможностью изменения температуры среды в нем со скоростью не быстрее $0,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

Также сцинтилляционный кристалл выполнен на основе кристалла NaI(Tl) или кристалла CsI(Tl).

Кроме того, счетное устройство гамма-квантов и управляющее устройство выполнены на базе единого микроконтроллера.

Кроме того, фотоприемники расположены на единой плате.

Краткое описание чертежей

Заявляемое устройство поясняется чертежами, где на фиг.1 представлена блок-схема устройства, на фиг 2 продемонстрирована его работоспособность в диапазоне температур от минус 65°C до плюс 70°C.

5 Позициями на фиг.1 обозначены: 1 - блок регистрации гамма-излучения, 2 - блок компенсации температурной зависимости, 3 – сцинтилляционный кристалл, 4 – фотоприемники, 5 – усилители-формирователи, 6 – схема совпадения импульсов сигналов, 7- счетное устройство гамма-квантов, 8 – датчик температуры, 9 - управляющее устройство, 10- источник питания, 11 – термостат. На фиг.2 линия 1
10 демонстрирует скорость счета фотонов от Am241 заявленного устройства без компенсации температурной зависимости, линия 2 – с компенсацией температурной зависимости, но без совпадений с сигналами второго фотоприемника, линия 3 – с компенсацией температурной зависимости и при совпадении сигналов с двух фотоприемников (в области < 40°C линии 2 и 3 совпадают).

Осуществление изобретения

15 Ниже представлено более детальное описание заявляемого поискового сцинтилляционного детектора гамма-излучения.

Поисковый сцинтилляционный детектор гамма-излучения включает блок регистрации гамма-излучения 1, соединенный с блоком компенсации температурной зависимости
20 2.

Блок регистрации гамма-излучения 1 включает сцинтилляционный кристалл 3, оптически соединенный с двумя параллельно подключенными фотоприемниками 4, в качестве которых используют Si-ФЭУ. Тип и размеры сцинтилляционного кристалла определяются требованиями к детектору по чувствительности, нагрузочной способности,
25 массо-габаритным ограничениям. В частности, могут быть использованы широко распространенные кристаллы NaI(Tl) или CsI(Tl). В качестве фотоприемников типа Si-ФЭУ могут быть использованы схемы, известные из уровня техники, обеспечивающие регистрацию в диапазоне длин волн, излучаемых сцинтиллятором световых вспышек (например, для NaI(Tl) около 410 нм). Оптический контакт между сцинтилляционным
30 кристаллом и фотоприемниками может быть реализован с помощью оптического клея или с помощью воздушного зазора.

Кроме того, в блоке регистрации гамма-излучения выходы первого и второго фотоприемников 4 соединены со входами первого и второго усилителей-формирователей 5, соответственно. Усилители-формирователи 5 представляют собой схему,
35 преобразующую сигналы с фотоприемника в прямоугольные импульсы, при условии превышения первыми заданного порога (порога регистрации, соответствующего, как правило, уровню 30-50 кэВ по энергетической шкале). Выходы первого и второго усилителей-формирователей 5 соединены со входами схемы совпадений импульсов сигналов 6. Схема совпадений импульсов сигналов 6 должна обладать быстродействием,
40 обеспечивающим регистрацию совпадающих сигналов от усилителей-формирователей 5 при их перекрытии по времени по крайней мере на 50%. Выход схемы совпадений импульсов сигналов 6 соединен со входом счетного устройства гамма-квантов 7, которое должно обладать быстродействием, обеспечивающим работу детектора при максимальной нагрузке детектора.

45 Блок компенсации температурной зависимости 2 включает датчик температуры 8, выполненный с возможностью измерения температуры внутри термостата 11, при этом датчик температуры соединен своим выходом со входом управляющего устройства 9. Управляющее устройство соединено с фотоприемниками 4 через источник питания 10.

Для уменьшения потребляемой мощности предпочтительна реализация управляющего 9 и счетного 7 устройств в рамках единого устройства на базе микроконтроллера. Источник питания 10 представляет собой маломощный преобразователь постоянного напряжения с амплитудой шумов не более $\pm 20\text{мВ}$ и должен обладать возможностью
5 изменения выдаваемого напряжения в диапазоне $V_0 \pm 1,5\text{В}$ под действием управляющего сигнала, где V_0 – оптимальное напряжение питания Si-ФЭУ при комнатной температуре.

Кроме того, сцинтилляционный кристалл 3, фотоприемники 4 размещены вместе с датчиком температуры 8 в термостате 11, выполненным с возможностью защиты
10 сцинтилляционного кристалла 3 от перепада температур. Термостат 11 может быть выполненным из материала, известного из уровня техники, обеспечивающего скорость изменения температуры среды в корпусе не быстрее $0,5^\circ\text{C}/\text{мин}$, и обеспечивающего защиту детектора от механических нагрузок: ударов и вибраций. Предпочтительным является выполнение термостата 11 из вспененного полиэтилена толщиной от 5 до 10
15 мм, обеспечивающего устойчивую работу заявляемого детектора гамма-излучения при изменяющейся в широком диапазоне температуры окружающей среды.

Заявляемый детектор может осуществлять измерение интенсивности рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне 50...3000 кэВ в составе с дополнительным оборудованием – пультом, обеспечивающим подачу питания на детектор, а также считывание и
20 отображение измерительных данных детектора. Детектор в составе с пультом может быть реализован в виде комплекса носимого оборудования для решения задач радиационного контроля окружающей среды, поиска и обнаружения источников ионизирующего излучения. Все конструктивные элементы заявляемого детектора гамма-излучения размещены в едином герметичном металлическом корпусе, имеющем
25 разъем для подключения к внешним устройствам.

Заявляемое устройство работает следующим образом.

Сцинтилляционный кристалл 3, поглощая гамма-квант от источника ионизирующего излучения, излучает поток фотонов, преобразуемый двумя фотоприемниками 4 в импульсы тока. Сигнал с каждого фотоприемника 4 преобразуется в прямоугольные
30 импульсы собственным усилителем-формирователем 5 при превышении сигнала заданного порога по амплитуде. Преобразованные сигналы поступают в схему совпадений 6, которая генерирует импульс, регистрируемый счетным устройством 7, только в случае совпадения сигналов с фотоприёмников 4 по времени, тем самым предотвращая регистрацию шумовых сигналов, в области повышенных температур.
35 Для компенсации температурной зависимости амплитуды импульсов с фотоприёмников 4, данные с датчика температуры 8 передаются управляющему устройству 9, который преобразует сигнал по нелинейному закону в управляющее напряжение источника питания 10. Источник питания 10, изменяя напряжение питания фотоприемников 4, компенсирует температурную зависимость амплитуды импульсов и, тем самым,
40 стабилизирует показания детектора гамма-излучения при изменении температуры. Конкретный вид нелинейного преобразования данных датчика температуры 8 в управляющее напряжение определяется при предварительной температурной калибровке детектора и сохраняется в памяти управляющего устройства.

Пример реализации изобретения

45 Реализация предложенного поискового детектора гамма-излучения представлена на фиг.1, в котором был использован сцинтилляционный кристалл NaI(Tl) размером $\varnothing 25 \times 25\text{мм}$, обеспечивающем чувствительность детектора на уровне 250 имп./с/мкЗв и загрузочную способность до 5×10^5 имп./с, к которому оптически присоединены два

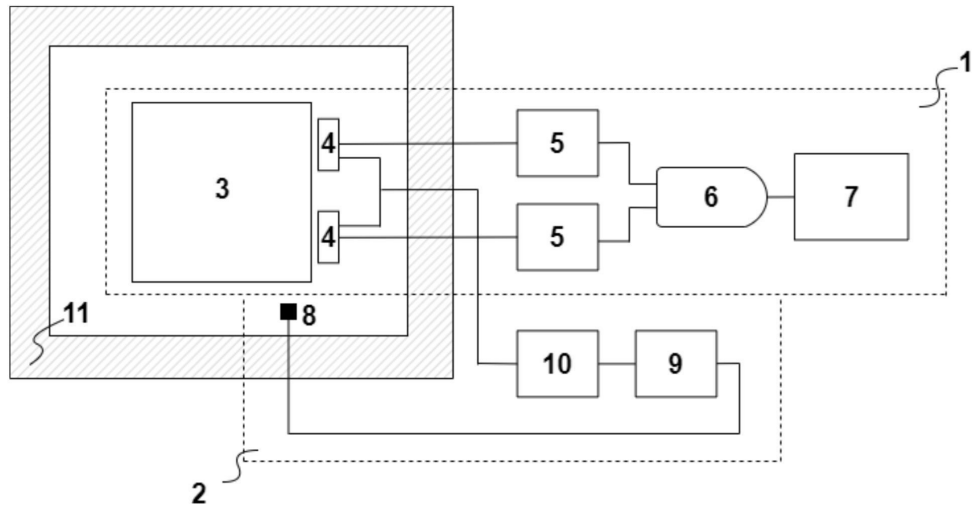
5 фотоприемника на базе Si-ФЭУ размером 6x6мм производства фирмы SensL. Анодные выходы Si-ФЭУ соединены с двумя пороговыми двухкаскадными усилителями-формирователями, с операционными усилителями AD8031 в первом каскаде, и быстродействующими компараторами MAX9109 во втором. Пороги срабатывания компараторов были установлены на уровне 70 мВ. Входы усилителей-формирователей соединены со схемой совпадений, реализованной на базе последовательно соединенных микросхем TTL-логики: SN74АНС1G08, работающей как двухвходовый элемент "И", и HD74НС123А, включенной как делящийся одновибратор. Выход схемы совпадений соединён со счетным устройством, реализованным на базе микроконтроллера
 10 STM32L452. На базе того же микроконтроллера реализовано управляющее устройство, которое считывает данные с датчика температуры, расположенного на одной плате с фотоприемниками, и преобразует их по нелинейному закону (полином второй степени) с помощью сохранённых в памяти микроконтроллера коэффициентов в управляющее напряжение, которое поступает в источник питания фотоприемников. Источник питания реализован на базе преобразователя напряжения MC33063А, он вырабатывает
 15 постоянное напряжение +27В при комнатной температуре и изменяет его под действием управляющего сигнала в диапазоне $\pm 1,5В$. Напряжение, вырабатываемое источником питания, подается на катодные выходы Si-ФЭУ. Сцинтилляционный кристалл, плата с фотоприемниками и датчиком температуры со всех сторон окружены термостатом,
 20 изготовленным из вспененного полиэтилена толщиной 10 мм. Все элементы заявляемого детектора гамма-излучения расположены в едином герметичном металлическом корпусе $\varnothing 70 \times 150$ мм с разъемом для соединения с другими устройствами (пультом).

Результаты испытаний предложенного поискового детектора в виде описанной реализации показаны на фиг.2. Испытания проводились в температурной камере в
 25 диапазоне температур от минус 65 до плюс 70°C. Измерялась скорость счета фотонов от источника ионизирующего излучения Am_{241} , излучающего фотоны энергией 59,5кэВ вблизи порога регистрации детектора, который был установлен на 40 кэВ. Измеренные скорости счета были нормированы на единицу в области комнатных температур. В первом случае (линия 1) измерялась температурная зависимость скорости счета
 30 детектора без компенсации температурной зависимости (блок компенсации температурной зависимости был отключен, источник питания выдавал на Si-ФЭУ постоянное напряжение +27В). На полученном графике наблюдается возрастание скорости счета на 20 % в окрестности температуры минус 30°C и постепенное падение счета до нуля при росте температуры от плюс 20 °C до плюс 70°C. Таким образом, при
 35 работе детектора без компенсации температурной зависимости наблюдается значительная зависимость показаний детектора от температуры окружающей среды. Во втором случае (линия 2) измерялась температурная зависимость детектора, работающего в режиме, аналогичном прототипу, описанному в патенте RU 2646542: компенсация температурной зависимости присутствует, но не используются средства
 40 подавления роста шумовой характеристики фотоприемников в области высоких температур (сигналы с одного усилителя-формирователя регистрируются в обход схемы совпадений, а со второго не регистрируются вовсе). В этом случае скорость счета стабилизировалась в пределах $\pm 5\%$, но в диапазоне выше плюс 40°C счет резко возрастал из-за вклада шумовых сигналов Si-ФЭУ, что приводило детектор в неработоспособное
 45 состояние (в диапазоне меньше плюс 40 °C линия 2 совпадает с линией 3). В третьем случае (линия 3) проверялась заявляемая схема поискового детектора: одновременно применялись компенсация температурной зависимости и схема совпадения сигналов с двух Si-ФЭУ. В этом случае возрастания скорости счета в высокотемпературной области

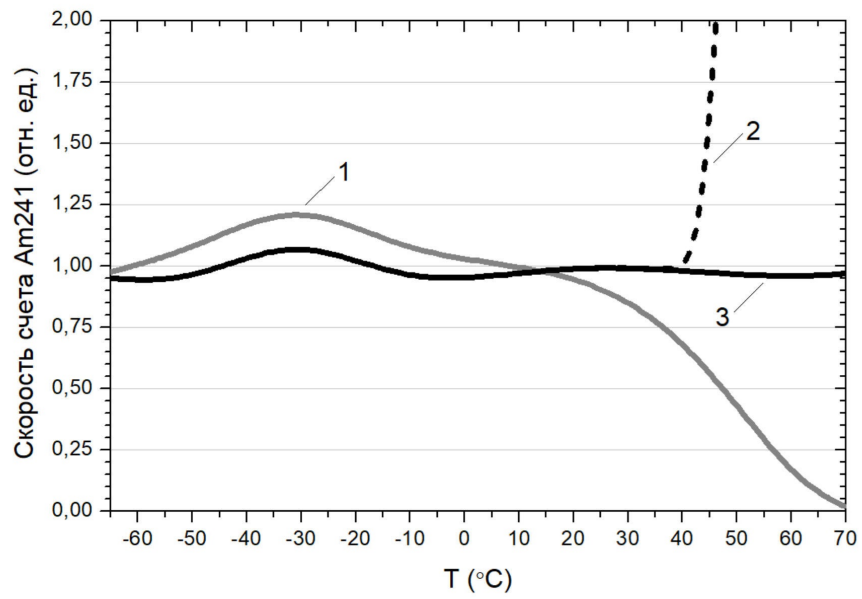
не наблюдалось, детектор сохранял работоспособность и стабильность скорости счета в пределах $\pm 5\%$ во всем исследованном температурном диапазоне. Таким образом, проведенные исследования заявляемого детектора продемонстрировали достижение технического результата: была обеспечена работоспособность и стабильность показаний поискового гамма-детектора на основе сцинтилляционного кристалла и Si-ФЭУ в широком диапазоне температур окружающей среды от минус 65°C до плюс 70°C .

(57) Формула изобретения

1. Поисковый сцинтилляционный детектор гамма-излучения, содержащий размещенные в корпусе блок регистрации гамма-излучения, включающий сцинтилляционный кристалл, оптически соединенный с фотоприемником, подключенным к усилителю-формирователю сигнала, а также счетное устройство гамма-квантов; и блок компенсации температурной зависимости, включающий последовательно соединенные датчик температуры, управляющее устройство, источник питания; при этом источник питания блока компенсации температурной зависимости соединен с фотоприемником блока регистрации гамма-излучения, отличающийся тем, что блок регистрации гамма-излучения содержит второй фотоприемник, оптически соединенный со сцинтилляционным кристаллом, второй усилитель-формирователь сигнала, соединенный со вторым фотоприемником, а также схему совпадений импульсов сигналов с фотоприемников по времени, выход которой соединен с входом счетного устройства, при этом первый и второй усилители-формирователи сигнала параллельно подключены к соответствующим входам схемы совпадений, а управляющее устройство блока компенсации температурной зависимости выполнено с возможностью преобразования данных с датчика температуры в управляющее напряжение, поступающее на источник питания фотоприемников, по нелинейному закону, при этом сцинтилляционный кристалл, фотоприемники и датчик температуры размещены в термостате, выполненном с возможностью защиты кристалла от перепада температур.
2. Поисковый сцинтилляционный детектор гамма-излучения по п.1, отличающийся тем, что фотоприемники представляют собой кремниевые фотоэлектронные умножители (Si-ФЭУ).
3. Поисковый сцинтилляционный детектор гамма-излучения по п.1, отличающийся тем, что термостат выполнен из вспененного полиэтилена толщиной не менее 5 мм.
4. Поисковый сцинтилляционный детектор гамма-излучения по п.1, отличающийся тем, что термостат выполнен с возможностью изменения температуры среды в нем со скоростью не быстрее $0,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.
5. Поисковый сцинтилляционный детектор гамма-излучения по п.1, отличающийся тем, что сцинтилляционный кристалл выполнен на основе кристалла NaI(Tl) или кристалла CsI(Tl).
6. Поисковый сцинтилляционный детектор гамма-излучения по п.1, отличающийся тем, что счетное устройство гамма-квантов и управляющее устройство выполнены на базе единого микроконтроллера.
7. Поисковый сцинтилляционный детектор гамма-излучения по п.1, отличающийся тем, что фотоприемники расположены на единой плате.



ФИГ.1



ФИГ.2