

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,  
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ**

УДК 621.376.234

**РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОГО РАДИОМЕТРА НА ОСНОВЕ  
КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АЛЬФА, БЕТА- И  
ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИЗОТОПОВ**

© 2023 г. С. А. Раджапов<sup>а,\*</sup>, К. М. Нурбоев<sup>б</sup>, Ф. Г. Муллагалиева<sup>а,\*\*</sup>,  
Б. С. Раджапов<sup>а</sup>, М. А. Зуфаров<sup>с</sup>

<sup>а</sup> Физико-технический институт НПО “Физика-Солнце” АН РУз  
Узбекистан, 100084, Ташкент, ул. Чингиза Айтматова, 2Б

<sup>б</sup> Навоийское отделение АН РУз

Узбекистан, 210100, Навои, пос. Галаба, 170

<sup>с</sup> Институт материаловедения НПО “Физика-Солнце” АН РУз

Узбекистан, 111310, Ташкентская область, Паркентский район, посёлок Куёи

\* e-mail: [rsafti@mail.ru](mailto:rsafti@mail.ru)

\*\*e-mail: [fmullagaliева@mail.ru](mailto:fmullagaliева@mail.ru)

Поступила в редакцию 18.04.2023 г.

После доработки 18.04. 2023 г.

Принята к публикации 09.05.2023 г.

Приведены результаты разработки универсального радиометрического устройства для измерения активностей альфа-, бета-, гамма-излучений и объемной активности радона в почве, воздухе и воде. Представлены структура многоканального радиометрического устройства с программным обеспечением, схема микроконтроллерного узла с формирователем сигналов, работа электронных узлов. Приводятся данные мониторинга объемной активности альфа-частиц радона и активностей бета- и гамма-излучений в почвенном воздухе. Результаты мониторинга показали зависимость активностей от температуры, влажности и времени суток. Устройство компактное, мобильное, универсальное, может использоваться как стационарно, так и в полевых условиях. Разработанная программа RMI V1.7 позволяет проводить длительный мониторинг в режиме реального времени и все измерения отображаются на мониторе компьютера.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Для экспресс-измерений и мониторинга активностей альфа-, бета-, гамма-излучений в различных средах появилась потребность в создании универсального прибора. Прибор должен быть компактным и безопасным. При работе с радиоактивными изотопами и другими

источниками ионизирующей радиации необходимо сведение уровня облучения человека к возможному минимуму. В связи с этим требуются точные приборы, работающие как в счетном, так и спектрометрическом режимах. Разработка таких приборов чрезвычайно важна для исследователей, работающих с радиоактивными веществами, лабораториям по исследованию и оценки радиационной обстановки окружающей среды и некоторых других отраслей экономики [1].

Особую актуальность для многих стран и в том числе для Узбекистана имеет радоновая проблема. Согласно геофизическим и сейсмическим данным на территории столицы Узбекистана имеются многочисленные разрывные нарушения земной коры, являющиеся следствием землетрясений 1966 г. [2, 3] и др.

Эти участки характеризуются повышенным выходом радонового газа. Если газ находится на разломе земной коры, способствующей продвижению радона, то его содержание в помещениях может превышать допустимые уровни. Продукты его распада радона излучают  $\alpha$ -частицы, которые разрушают живые клетки. Радон вместе со своими дочерними продуктами радиоактивного распада ответственен примерно за  $3/4$  годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации. Большую часть этой дозы человек получает от радона, попадающего в его организм вместе с вдыхаемым воздухом, особенно в непроветриваемых помещениях [4].

Гамма- и бета-лучи – одни из наиболее проникающих видов излучений, поэтому при облучении представляют для человека наибольшую опасность [1]. Проблема воздействия радиоактивных излучений на население в основном связывается с использованием ядерного оружия, воздействием на окружающую среду атомных электростанций, внедрением в технику и медицину источников ионизирующих излучений. Таким образом, задача разработки радиоспектрометрического устройства для измерений альфа-, гамма- и бета- излучений является актуальной.

Целью данной работы было создание многоканального универсального измерительного устройства регистрации активности альфа-, бета- и гамма- излучений и объемной активности радона в различных средах на основе кремниевых детекторов больших размеров с использованием современных разработок изготовления детекторов и радиометров.

## 2. РАЗРАБОТКА РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ

Разработка технологии изготовления поверхностно-барьерных, гетеропереходных, литий-дрейфовых детекторов больших размеров описана в работах [5–8].

Исследования радиометрических характеристик литий-дрейфовых детекторов показали, что детекторы площадью 20–50 см<sup>2</sup> имели энергетическое разрешение порядка 50–90 кэВ по  $\alpha$ -частицам <sup>226</sup>Ra с энергией  $E_\alpha \sim 7.65$  МэВ [8].

Поверхностно-барьерные детекторы изготавливались из кремния *n*-типа, гетеропереходные детекторы Al- $\alpha$ -Ge-*p*-Si-Au из кремния *p*-типа. Удельное сопротивление исходных пластин варьировалось в диапазоне (3–8) кОм·см, время жизни неосновных носителей составляло  $\tau = 300$ –1000 мкс. Толщина аморфного  $\alpha$ -Ge составляла 300 Å. Энергетическое разрешение составляло 86 кэВ по  $\alpha$ -частицам <sup>226</sup>Ra с энергией  $E_\alpha \sim 7.65$  МэВ при температуре  $T = +27$  °С. [5, 6].

Изготовленные детекторы обеспечивали измерения в 2 $\pi$ -геометрии из-за малых потерь энергии в “мертвом” слое входного и выходного окон [5, 6].

Изготовленные детекторы имели следующие характеристики: диаметр 40–100 мм, толщина чувствительной области  $W = 0.3$ –0.5 мм при рабочем напряжении  $U_{\text{раб}} = 10$ –80 В, “темновой” ток  $I_{\text{обр}} = 0.5$ –2 мкА, емкость  $C = 1000$ –1750 пФ, энергетический эквивалент шума  $E_{\text{ш}} = 40$ –52 кэВ, энергетическое разрешение  $R_\alpha$  составляло 86 кэВ при температуре  $T = +27$ °С [5, 9].

Разработанное устройство на основе кремниевых детекторов обеспечивало возможность проводить мониторинг в течение продолжительного времени в режиме онлайн. Универсальность устройства заключалась в том, что прибор, состоящий из трех радиометров, мог проводить одновременные измерения альфа-, бета- и гамма-излучений в исследуемых пробах или в среде от естественных источников.

Также прибор может использоваться для измерения объемной активности радона в почве, воде и воздухе параллельно. С помощью устройства можно также измерять относительную влажность и температуру [9].

Структурная схема радиометрического устройства приведена на рис.1.

Рис. 1

### 3. РАБОЧИЕ КАМЕРЫ

Разработанные рабочие камеры представляют собой герметично закрытые цилиндры, в центре которых находятся определенного типа детекторы. Для измерения бета- и гамма-излучений используется “толстый” литий-дрейфовый детектор, для альфа – поверхностно-барьерный или гетеропереходный детектор. Детекторы чувствительны для регистрации излучений с двух сторон [5, 6].

Микроконтроллерный узел обеспечивает работу устройства регистрации.

Работа функциональных узлов описана в работах [6, 8, 10].

**Рис. 2** Схемы разработанных узлов, которые используются в данном устройстве и обеспечивают работу по регистрации излучений, изображены на рис.2.

#### 4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРА

Радиометр подключен к персональному компьютеру. Полученные измерения обрабатываются компьютером с установленной разработанной программой RMI-V1.7 и отображаются на мониторе компьютера в режиме реального времени [11]. Электронные составные части, используемые в радиометре, позволяют эксплуатировать прибор при температурах от -20 °С до + 35 °С.

**Рис. 3** На рис.3. представлен общий вид радиометрического устройства.

#### 5. МОНИТОРИНГ АКТИВНОСТЕЙ БЕТА- И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЙ И ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА МНОГОКАНАЛЬНЫМ РАДИОМЕТРОМ

**Рис. 4** На рис.4. показаны изменения объёмной активности радона и активностей бета и гамма-излучений в почве за период с 3 марта по 14 июля 2022г. в режиме реального времени. Измерения проводились на территории одной из областей республики. Исследования показали зависимости объёмной активности радона от влажности [8]. Активности бета- и гамма-излучений не показали зависимость от влажности. Наблюдаемое резкое увеличение активности бета-излучения может быть связано с деформационными процессами земной коры данной территории, которая находится, по-видимому, в зоне разлома, поскольку территория республики относится к сейсмоактивной зоне и характеризуется многочисленными трещинами и разломами.

#### 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе детекторов с большой чувствительной областью и рабочим объемом из кремния было разработано и изготовлено многоканальное радиометрическое устройство, состоящее из трех радиометров. Тип детектора выбирался в зависимости от активности измеряемого излучения. Для измерения активности гамма-излучения использовались литий-дрейфовые детекторы толщиной до 1мм, для бета-излучения и альфа-частиц поверхностно-барьерные или гетеропереходные до 0.5мм. Разработанные детекторы из-за малых потерь в нечувствительной области обеспечивают измерения в 2π-геометрии и непосредственно в измеряемой ячейке.

Разработанная компьютерная программа позволила обобщить и обеспечить высокое качество получаемой информации в детекторах об излучениях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муминов Р. А., Раджапов С. А., Тошмуродов Ё. К., Раджапов Б. С. // *Computational Nanotechnology*. 2017. № 3. С. 27.
2. Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г. Ташкент: ФАН, 1971. С.672.
3. Яфасов А.А., Яфасов А.Я. // *Экологические вести*. 2000. №4. С. 47.
4. Радиологическая защита от облучения радоном. Публикация 126 МКРЗ. Москва: Изд. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА, 2015.
5. Раджапов С.А., Раджапов Б.С., Рахимов Р.Х. // *Computational Nanotechnology*. 2018. №1. С.151. [https://www.elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=50989](https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=50989)
6. Muminov R.A., Radzharov S.A., Mullagalieva F.A., Radzharov B.S., Zufarov M.A., Nurboev K.M., Akhmedov G.M. // *Instruments Experim. Techniq*. 2021. V. 64. № 3. P. 444. DOI: 10.1134/S0020441221030222
7. Muminov R.A., Radzharov S.A., Mullagalieva F.G., Radzharov B.S., Zufarov M.A. // *Atomic Energy*. 2022. V. 131. С. 354. DOI 10.1007/s10512-022-00892-2
8. Раджапов С.А., Нурбоев К.М., Муллағалиева Ф.Г., Зуфаров М.А., Раджапов Б.С., Эргашев К.Э // *Computatonal nanotechnology*. 2022. V. 9. № 3. P. 45. DOI: 10.33693/2313-223X-2022-9-3-45-52.
9. Раджапов С.А., Рахимов Р.Х., Раджапов Б.С., Зуфаров М.А., Шарифов Ш.Ф. // *Computational Nanotechnology*. 2019. № 1. P. 65.
10. Муминов Р.А., Раджапов С.А., Лутпуллаев С.Л., Пиндюрин Ю.С, Хусамидинов С.С., Юткин С.В. Патент РУз №IAP 04882. <http://baza.ima.uz/>
11. Раджапов Б.С., Эргашев К. Свидетельство на программные продукты РУз № DGU 20180983 от 18.10.2022. <http://baza.ima.uz/>

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

**Рис. 1.** Структурная схема радиометрического устройства: РК-1, РК-2, РК-3 – рабочие камеры с альфа-, бета- и гамма-детекторами, УСИ-1, УСИ-2, УСИ-3 – узлы усиления и селекции информации (аналоговая часть), МК – микроконтроллер(цифровая часть), ВП – узел вторичного электропитания, ВЗ – воздухозаборник, ПК – персональный компьютер с установленным программным обеспечением [11].

**Рис. 2.** Электрические схемы многоканального радиометра: **а**- схема микроконтроллера, **б** – схема узлов усиления и селекции информации (I – УСИ-1, II – УСИ-2, III – УСИ-3), **в** – схема предусилителя и питания воздуходувки.

**Рис. 3.** Радиометрического устройства для измерения активностей альфа-, бета-, гамма-излучений и объемной активности радона в почве, воздухе, воде одновременно в режиме реального времени.

**Рис. 4.** Изменение объемной активности альфа-частиц радона, активностей бета- и гамма-излучений, влажности и температуры за период 03.06.2022г.–14.07.2022г.

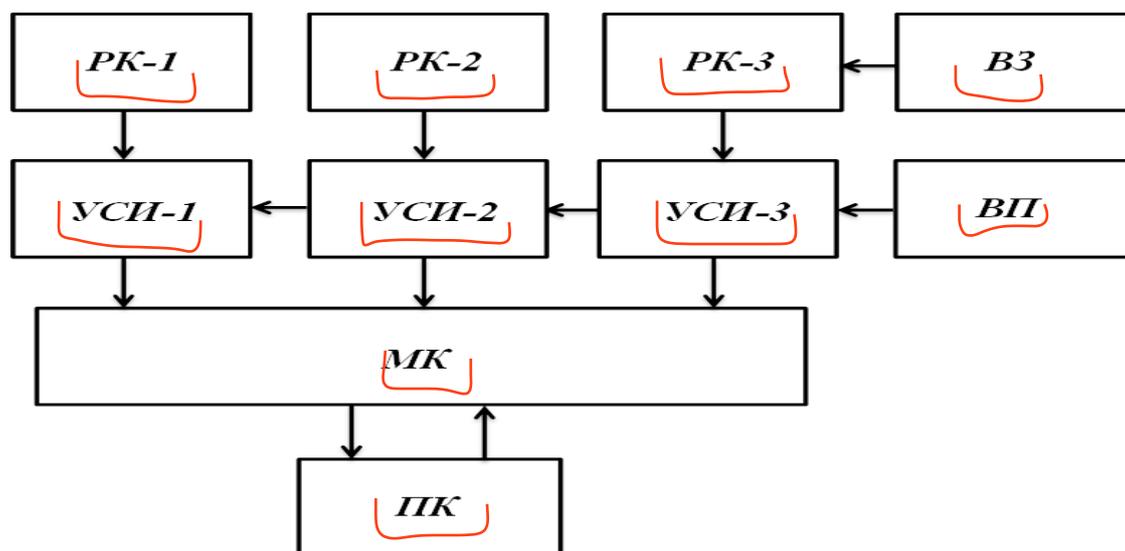


Рис. 1.





СХЕМА ВХОДНОГО БЛОКА

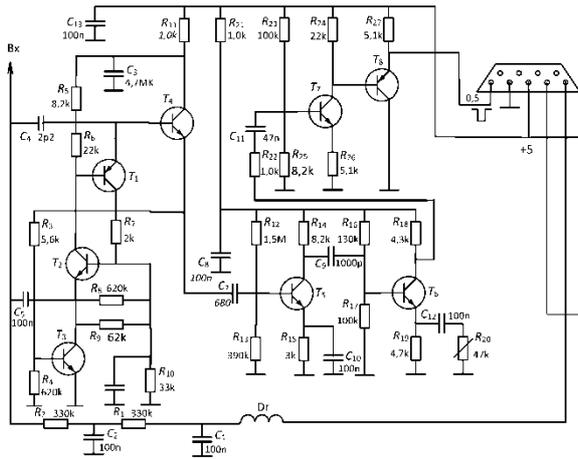


СХЕМА ПИТАНИЯ ПМПЫ

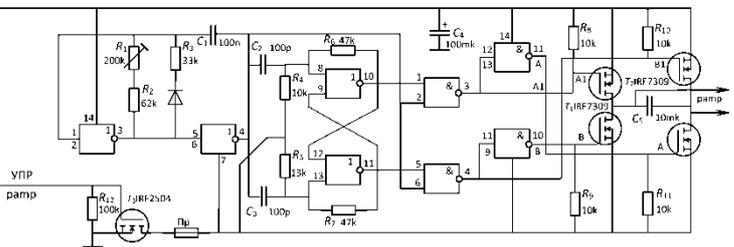


Рис.2 (в)



**Рис. 3.**

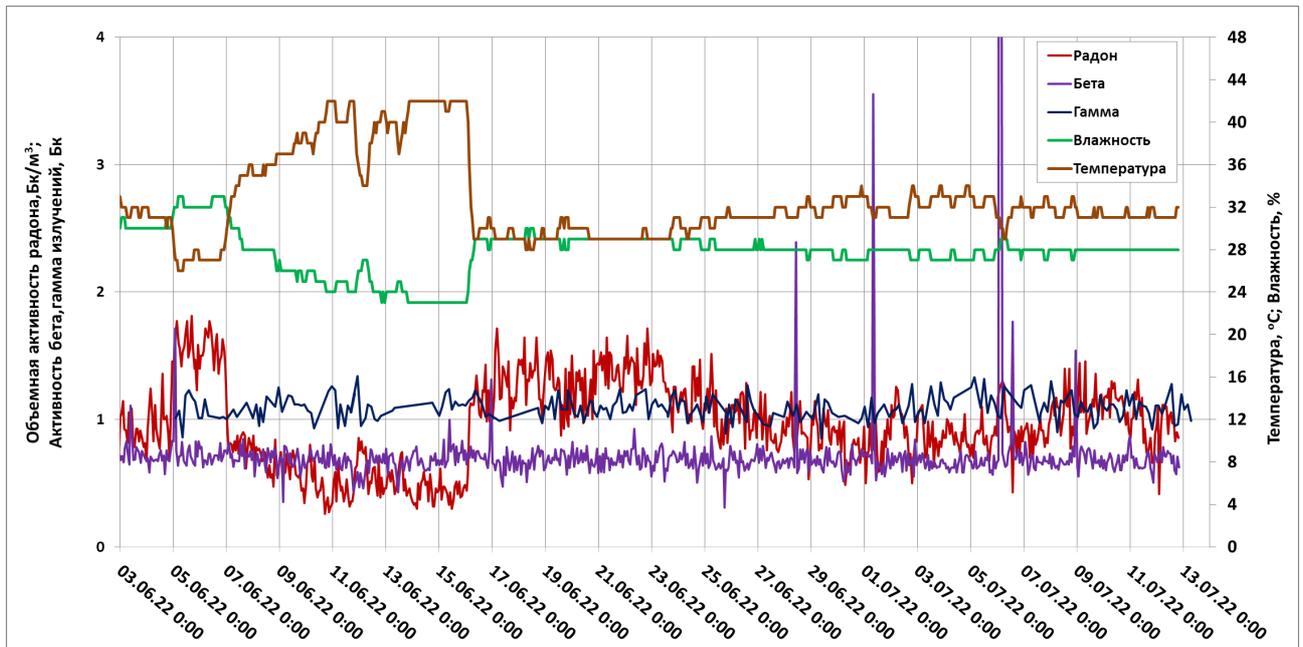


Рис. 4.

Для связи с авторами:

Раджапов Сали Аширович – e-mail: rsafti@mail.ru  
Муллагалиева Фануза Галлиевна – e-mail: fmullagalieva@mail.ru

В помощь переводчику:

**DEVELOPMENT OF A MULTI-CHANNEL RADIOMETER BASED ON SILICON DETECTORS FOR MEASUREMENT OF ALPHA, BETA AND GAMMA RADIATIONS OF NATURAL ISOTOPS.**

**S. A. Radzhapov<sup>1\*</sup>, K. M. Nurboev<sup>2</sup>, F. G. Mullagalieva<sup>1\*\*</sup>, B. S. Radzhapov<sup>1</sup>, M. A. Zufarov.**

<sup>1</sup>*Physical-technical institute of scientific production association "Physics-Sun" Tashkent, 100084, Chingiz Aytmatov Str., 2 "B", Uzbekistan.*

<sup>2</sup>*Navoi branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Navoi, 210100, p., Galaba, 170, Uzbekistan.*

<sup>3</sup>*Institute of Materials Science NPO "Physics-Sun" of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent region, 111310, Parkent district, Kuyosh village, Uzbekistan.*

The article presents the results of the development of a universal radiometric device for measuring the activities of alpha, beta, gamma radiation and the volumetric activity of radon in soil, air and water. The structure of a multichannel radiometric device with software, a diagram of a microcontroller unit with a signal conditioner, and the operation of electronic units are presented. The data of monitoring the volumetric activity of radon alpha particles and the activities of beta and gamma radiation in the soil air are given. The monitoring results showed that activities vary depending on temperature, humidity and time of day. The device is compact, mobile universal can be used both stationary and in the field. The developed RMI V1.7 program allows for long-term real-time monitoring and all measurements are displayed on a computer monitor.

**Keywords:** silicon, semiconductor detectors, radiometric device; alpha, beta, gamma radiation; amplification node.

**Ключевые слова:** кремний, полупроводниковые детекторы, радиометрическое устройство; альфа, бета, гамма –излучения; узел усиления.