

**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**

© 2024 г. С. А. Раджапов^{а,*}, К. М. Нурбоев^б, Ф. Г. Муллағалиева^{а,**},
Б. С. Раджапов^а, М. А. Зуфаров^с

^аФизико-технический институт НПО “Физика-Солнце” АН РУз
Узбекистан, 100084, Ташкент, ул. Чингиза Айтматова, 2Б

^бНавоийское отделение АН РУз

Узбекистан, 210100, Навои, пос. Галаба, 170

^сИнститут материаловедения НПО “Физика-Солнце” АН РУз
Узбекистан, 111310, Ташкентская обл., Паркентский р-н, пос. Куёш

*e-mail: rsafti@mail.ru

**e-mail: fmullagalieva@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, все измерения отображаются на мониторе компьютера.

DOI: 10.31857/S0032816224010193, EDN: DZXLOA

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, лабораторий 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 распада радона излучают α -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 см² имели энергетическое разрешение порядка 50–90 кэВ по α -частицам ²²⁶Ra с энергией $E_\alpha \sim 7.65$ МэВ [8].

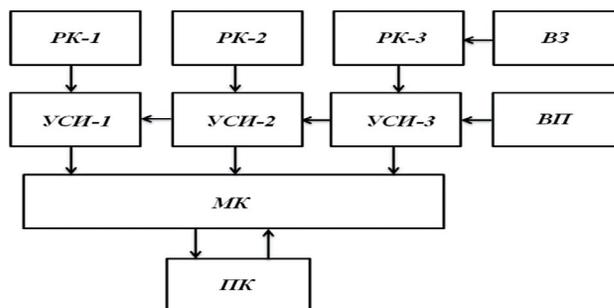


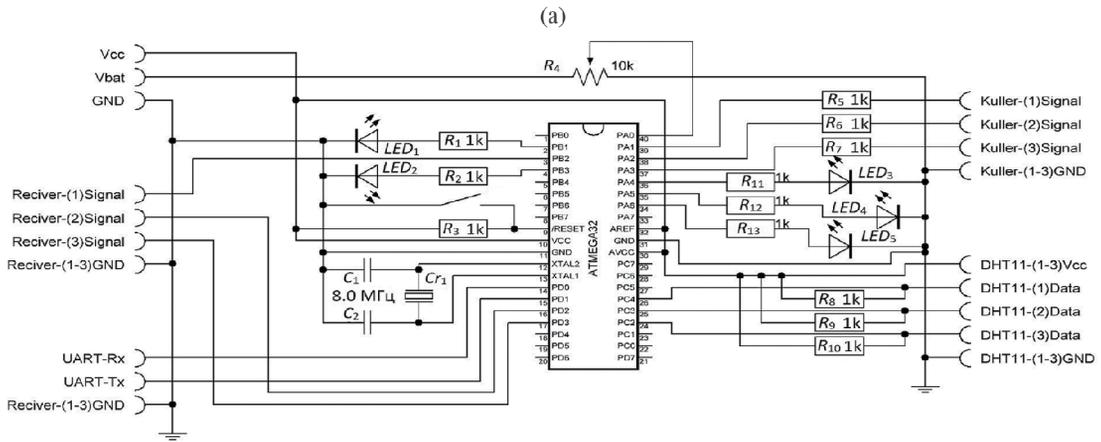
Рис. 1. Структурная схема радиометрического устройства: ПК-1, ПК-2, ПК-3 – рабочие камеры с альфа-, бета- и гамма-детекторами, УСИ-1, УСИ-2, УСИ-3 – узлы усиления и селекции информации (аналоговая часть), МК – микроконтроллер (цифровая часть), ВП – узел вторичного электропитания, ВЭ – воздухозаборник,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

Поверхностно-барьерные детекторы изготавливались из кремния *n*-типа, гетеропереходные детекторы Al- α -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 α -Ge составляла 300 Å. Энергетическое разрешение составляло 86 кэВ по α -частицам ²²⁶Ra с энергией $E_\alpha \sim 7.65$ МэВ при температуре $T = +27$ °С [5, 6].

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

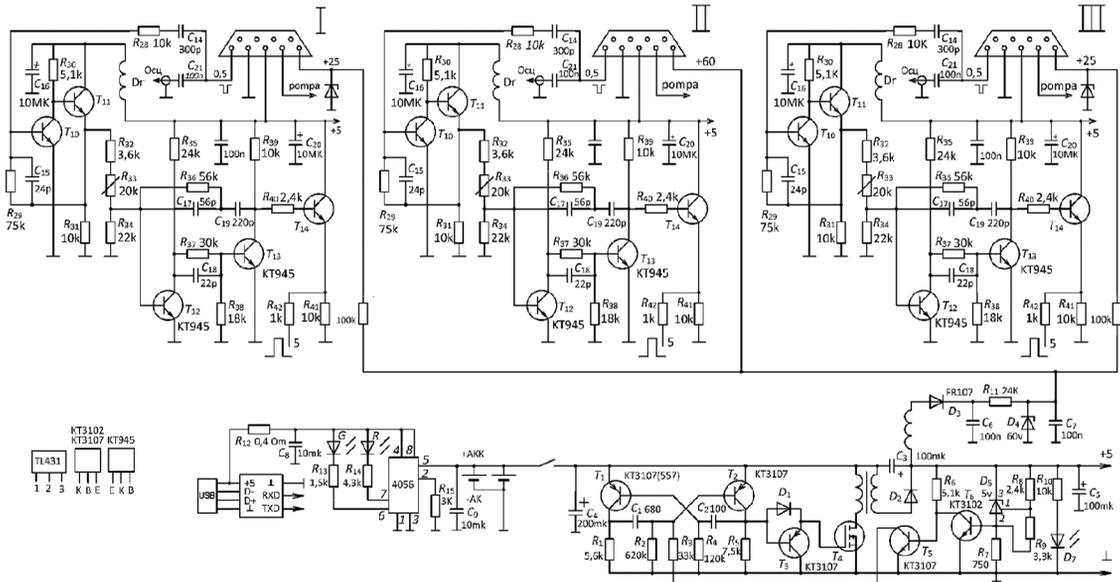
Изготовленные детекторы имели следующие характеристики: диаметр 40–100 мм, толщина чувствительной области $W = 0.3$ –0.5 мм при рабочем напряжении $U_{\text{раб}} = 10$ –80 В, “темновой” ток $I_{\text{обр}} = 0.5$ –2 мкА, емкость $C = 1000$ –1750 пФ, энергетический эквивалент шума $E_{\text{ш}} = 40$ –52 кэВ, энергетическое разрешение R_α 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.



(а)

ФОРМИРОВАТЕЛЬ



(б)

СХЕМА ВХОДНОГО БЛОКА

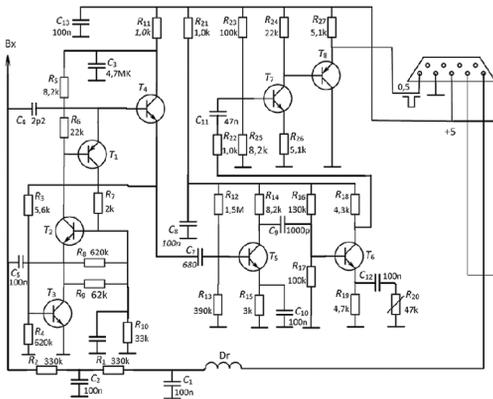


СХЕМА ПИТАНИЯ ПОМПЫ

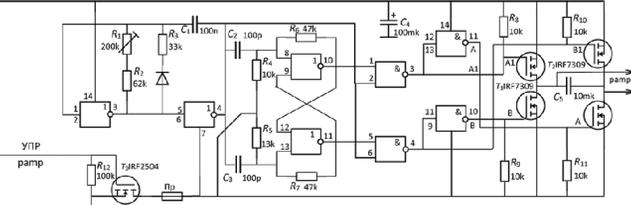


Рис. 2. Электрические схемы многоканального радиометра: а – схема микроконтроллера; б – схема узлов усиления и селекции информации (I – УСИ-1, II – УСИ-2, III – УСИ-3); в – схема предусилителя и питания воздуходувки.



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

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.

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].

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°C до $+35^{\circ}\text{C}$.

На рис. 3. представлен общий вид радиометрического устройства.

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

На рис. 4. показаны изменения объемной активности радона и активностей бета- и гамма-излучений в почве за период с 3 марта по 14 июля 2022 г. в режиме реального времени. Измерения проводились на территории одной из областей республики. Исследования показали зависимости объемной 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

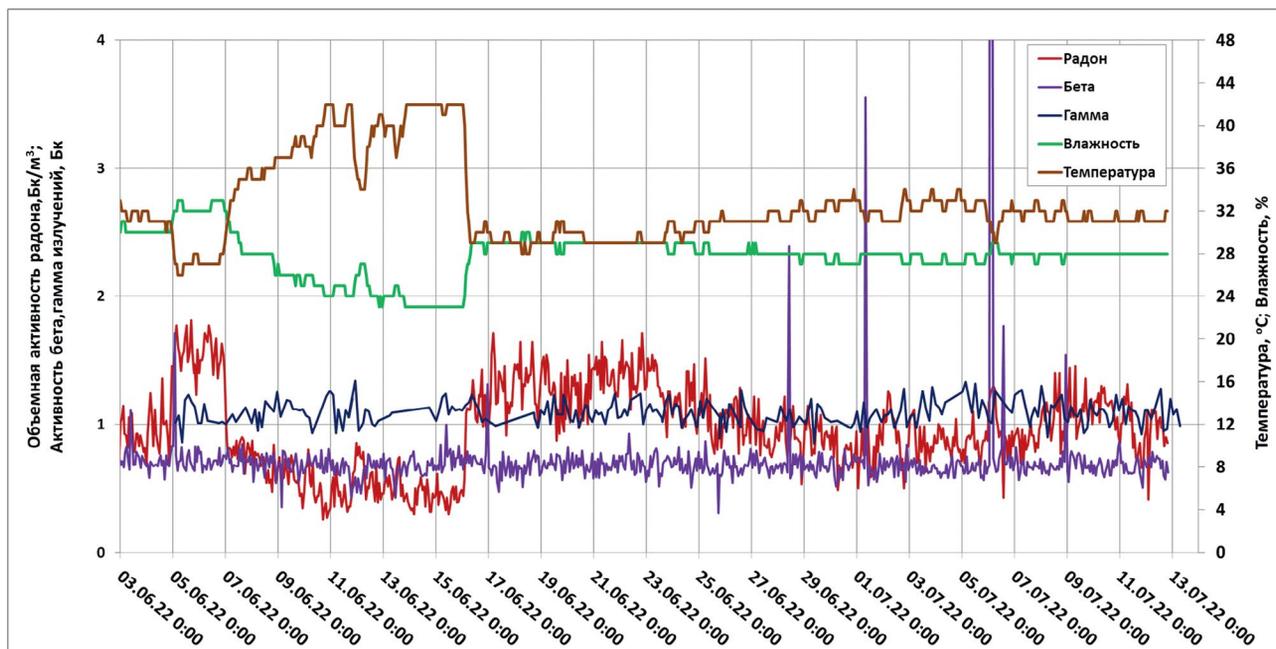


Рис. 4. Изменение объемной активности альфа-частиц радона, активностей бета- и гамма-излучений, влажности и температуры за период с 03.06 по 14.07 2022 г.

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 1 мм, для бета-излучения и альфа-частиц поверхностно-барьерные или гетеропереходные до 0.5 мм. 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. М.: 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
6. Muminov R.A., Radzhapov S.A., Mullagalieva F.A., Radzhapov B.S., Zufarov M.A., Nurboev K.M., Akhmedov G.M. // *Instruments Experim. Techniq.* 2021. V. 64. № 3. P. 444. <https://doi.org/10.1134/S0020441221030222>
7. Muminov R.A., Radzhapov S.A., Mullagalieva F.G., Radzhapov B.S., Zufarov M.A. // *Atomic Energy*. 2022. V. 131. С. 354. <https://doi.org/10.1007/s10512-022-00892-2>
8. Раджапов С.А., Нурбоев К.М., Муллагалиева Ф.Г., Зуфаров М.А., Раджапов Б.С., Эргашев К.Э // *Computational nanotechnology*. 2022. V. 9. № 3. P. 45. <https://doi.org/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/>