

9. Тищенко В. А. О радиобезэховой камере // Альманах современной метрологии 2014. № 1. С. 338—341.

10. Лопашев Д. З. Исследование звукового поля в большом измерительном бассейне // Исследования в области акустических и гидроакустических измерений: Труды институтов Комитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР, 1963. Вып. 73(133). С. 31—40.

11. ГОСТ Р 53188.2—2010. ГСИ. Шумомеры. Ч. 2. Методы испытаний.

12. Chen Yi, Isaev A. E., Wang Yuebing, Enyakov A. M., Fei Teng Matveev, A. N. The COOMET Pilot Comparison 473/RU-a/09: Comparison of hydrophone calibrations in the frequency range 250 Hz to 200 kHz // Metrologia Tech. Suppl. 2011 48 09004.

Дата принятия 06.02.2015 г.

ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

539.124:539.125.4:539.1.074.5:53.082

Спектрометрический алмазный детектор потоков ионизирующего излучения для транспортных космических систем

К. В. ЗАХАРЧЕНКО¹, А. Ф. КАПЕРКО², В. А. КОЛЮБИН¹, В. П. КУЛАГИН²,
С. А. ЛЬВОВ¹, П. Г. НЕДОСЕКИН¹, Е. Н. ЧУМАЧЕНКО²

¹ ООО Производственно-технологический центр «УралАлмазИнвест»,
Москва, Россия, e-mail: nanophys@mail.ru

² Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва,
Россия, e-mail: akaperko@hse.ru

Рассмотрены принципиальные подходы к построению спектрометрического алмазного детектора потоков ионизирующего излучения. Прибор предназначен для непрерывного контроля радиационной обстановки на борту космических аппаратов с целью оперативного принятия мер по активной защите и прогнозирования остаточного ресурса работы транспортных космических систем.

Ключевые слова: спектрометрический алмазный детектор, космическое излучение, электрон, протон, тяжелый ион.

The principal approaches to construction of spectrometric diamond detector of ionizing radiation fluxes has been considered. The instrument is intended for continuous monitoring of the spacecraft onboard radiation safety for prompt taking measures for active protect and to prediction of the residual life time of space transportation systems.

Key words: spectrometric diamond detector, space radiation, electron, proton, heavy ion.

Прогнозирование неблагоприятной радиационной обстановки и использование активных способов радиационной защиты космических аппаратов являются важными направлениями увеличения их сроков функционирования. Для этого космические аппараты снабжают измерительными приборами непрерывного мониторинга космического излучения. Увеличение ресурсов работы таких аппаратов до 10—15 лет приводит к необходимости использования детекторов, способных сохранять работоспособность при значениях поглощенной дозы до 200 Мрад.

Алмазные детекторы ионизирующего излучения обладают требуемой радиационной стойкостью [1, 2]. Однако их применение для построения аппаратуры мониторинга космического излучения имеет ряд специфических аспектов [3, 4]. При создании многоцелевых приборов измерения потоков ионизирующего и космического излучений, обеспечивающих контроль энергетических характеристик, таких как корпускулярные потоки электронов, протонов, измерения линейной

передачи энергии (ЛПЭ) тяжелых ионов, т. е. тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ), недостаточная радиационная стойкость кремниевых, газоразрядных и сцинтилляционных детекторов является обычной проблемой. Приборы остаются работоспособными на орбите около 3—4 лет [3—5]. Использование алмазных детекторов ионизирующего излучения позволяет создавать измерительные приборы, в том числе спектрометрические, с ресурсом работы до 20 лет и более, что особенно важно при создании транспортных космических систем. Малые габаритные размеры, температурная стойкость, отсутствие высоковольтных источников питания, сравнительно простые схемы преобразования сигналов — эти свойства алмазных детекторов позволяют создавать спектрометры высокого разрешения. Такие спектрометры могут быть построены по принципу многодетекторных систем с применением селективных фильтров — поглотителей ионизирующего излучения [6].

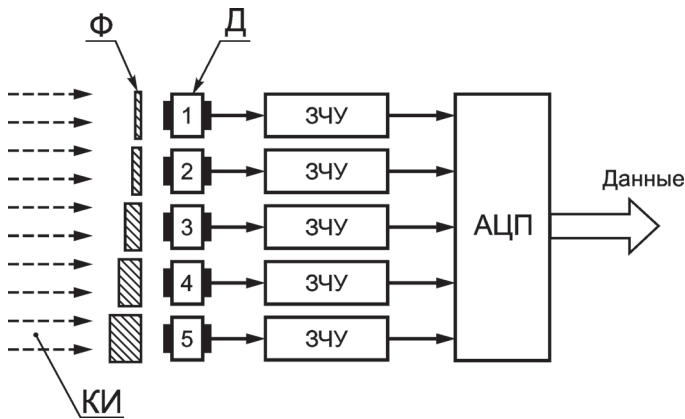


Рис. 1. Функциональная схема спектрометрического алмазного детектора:

Φ — селективные фильтры; Δ — алмазные чувствительные элементы; ЗЧУ — зарядочувствительные усилители; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; КИ — поток частиц космического излучения

При нахождении пилотируемого транспортного космического аппарата на околоземных и окололунных орбитах спектр падающего ионизирующего излучения быстро изменяется в широких пределах (например, при солнечных протонных событиях — от 1 до 1000 протонов/(см²·с·ср) за несколько часов; в пределах радиационных поясов Земли — от 10⁴ до 10⁶ электронов/(см²·с·ср) в течение часа). Для контроля радиационной обстановки на борту корабля и оперативного реагирования на угрожающие экипажу ситуации важно своевременно прогнозировать и обнаруживать возникновение опасных уровней облучения. Для этого необходимо контролировать энергетические спектры ионизирующих излучений снаружи корабля [5—7]. Для решения этих проблем исследуют возможности создания интегральных устройств, объединяющих детекторные и радиоэлектронные структуры в монолитном или гибридном исполнении [3, 4]. В лабораториях и исследовательских центрах разрабатывают активные алмазные элементы, в том числе транзисторные структуры [8, 9]. В последнее время в этой области появились новые научные идеи и конструктивно-технологические решения [6, 10—12].

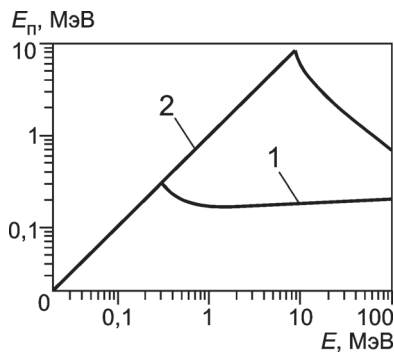


Рис. 2. Зависимость энергии, переданной алмазному чувствительному элементу электроном и протоном, от исходной энергии частиц:

1 — электроны; 2 — протоны

Спектрометрический алмазный детектор ионизирующего излучения регистрирует потоки космических частиц, таких как электроны, высокоэнергетические протоны и ТЗЧ вне транспортной космической системы. Интенсивность этих потоков составляет от 10 до 1·10⁴ протон/(см²·с·ср); от 10 до 1·10⁷ электрон/(см²·с·ср); от 10 до 1·10⁴ ТЗЧ/(см²·с·ср).

Поток электронов в зоне внешнего радиационного пояса Земли (РПЗ) характеризуется резкими всплесками интенсивности, при которых он может увеличиваться в 100—1000 раз. При развитии солнечных протонных событий наблюдается резкое возрастание потока протонов, в котором сначала присутствуют протоны низких энергий, а затем увеличивается количество частиц с более высокими энергиями. Данные о спектрах протонов необходимы для прогнозирования радиационных параметров указанных событий. Спектрометр предназначен для получения информации о потоках космических частиц для дальнейшего прогнозирования солнечных протонных событий и всплесков интенсивности потоков электронов в РПЗ, а также для фиксации ТЗЧ.

В качестве полупроводникового материала для чувствительных элементов, регистрирующих космическое излучение, выбран низкоазотный алмаз типа II-A. Использование алмаза, имеющего высокую радиационную стойкость (до 500 Мрад), обеспечивает требуемый ресурс работы чувствительных элементов спектрометрического детектора как в условиях РПЗ, так и при полете в космическом пространстве.

Схема работы спектрометрического алмазного детектора с использованием многоканального узла детектирования на основе алмазных чувствительных элементов (АЧЭ) представлена на рис. 1. При попадании ионизирующей частицы космического излучения в АЧЭ возникает заряд Q , пропорциональный энергии E_n , переданной частицей чувствительному элементу:

$$Q = K_e E_n / E_0, \quad (1)$$

где $K = 0,5$ — коэффициент эффективности собирания заряда; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — элементарный заряд; E_0 — средняя энергия образования электронно-дырочной пары под действием ионизирующего излучения, для алмаза $E_0 = 13,2$ эВ [2, 13].

Заряд, образовавшийся в АЧЭ, усиливается с помощью зарядочувствительного усилителя ЗЧУ, на выходе которого появляется импульс напряжения амплитудой, пропорциональной заряду и, следовательно, энергии, переданной частицей в этот элемент. Таким образом, измерив амплитуду импульса, можно определить энергию, потерянную частицей в АЧЭ. Выход усилителя соединен с аналого-цифровым преобразователем АЦП, осуществляющим амплитудный анализ сигналов АЧЭ. Совместный анализ данных пяти АЧЭ многоканального узла сенсоров обеспечивает восстановление спектров электронной, протонной составляющей и компоненты тяжелых ионов КИ.

На рис. 2 приведены зависимости энергии E_n от исходной энергии E частиц перед фильтрами. Расчеты проводили в программном пакете GEANT4 [13] для алмазной пластины толщиной 0,3 мм. Из графиков следует, что амплитудный анализ сигналов АЧЭ не позволяет однозначно определять энергию частицы по амплитуде импульса в тракте регистрации, что связано с немонотонным видом зависимости. Для разделения регистрируемых частиц по энергетическим диапазонам используют селективные фильтры. Проходя через

материал фильтра, ионизирующая частица теряет часть энергии, что приводит к смещению спектра поглощения энергии в АЧЭ.

На рис. 3, а показаны спектры поглощения электронов, прошедших через селективные фильтры. Таким образом, если использовать 5 каналов регистрации с АЧЭ, установленными за фильтрами толщиной 0,24; 0,89; 2,0; 4,4; 9,5 мм, и в каналах регистрации фиксировать импульсы амплитудой, соответствующей поглощенной энергии 0,2 МэВ, то можно отдельно регистрировать электроны в следующих энергетических диапазонах: 0,5—0,75; 1,2—1,5; 2,3—2,9; 5,2—5,7; 13—15 МэВ, соответственно. Подсчет зарегистрированных электронов в каждом энергетическом диапазоне в заданном интервале времени позволяет определять плотность потока электронов в соответствующем энергетическом диапазоне:

$$P = N/(tS\omega), \quad (2)$$

где P — плотность потока частиц; t — время измерения, т. е. подсчета частиц; S — площадь чувствительной поверхности АЧЭ; ω — телесный угол, из которого частицы попадают на АЧЭ.

Если использовать те же каналы, что и в случае с электронами, при регистрации протонов, а в каналах фиксировать импульсы амплитудой, соответствующей поглощенной энергии 3,0 МэВ, то можно отдельно регистрировать протоны в следующих энергетических диапазонах: 10—20; 21—28; 33—38; 51—55; 79—82 МэВ. Плотность потока частиц в соответствующем энергетическом диапазоне можно рассчитать по (2). Для протонов, имеющих энергии выше 100 МэВ, использование селективных фильтров нецелесообразно, поэтому их разделение в этом энергетическом диапазоне проводят путем амплитудной дискриминации. Установка порогов, соответствующих переданной энергии 0,5 и 0,8 МэВ, позволяет выделить сигнал от протонов с энергиями ниже 200 и 100 МэВ, соответственно.

Получение информации по определению ЛПЭ ионов является более трудоемкой задачей. Измерение осложнено тем, что зависимость ЛПЭ от энергии ТЗЧ немонотонна, а имеет максимум и две спадающие ветви; ЛПЭ различных ионов при одинаковых энергиях зависит от массы и заряда частицы; регистрирующая аппаратура спектрометра определяет энергию, поглощенную в АЧЭ при регистрации частицы.

На рис. 3, б представлены зависимости энергии, переданной АЧЭ, от исходной ЛПЭ ионов кислорода при различных толщине селективных фильтров: 50 мкм; 1—0,24 мм; 2—0,89 мм; 3—2,0 мм; 4—4,4 мм; 5—9,5 мм. Из рис. 3, б следует, что при использовании пяти АЧЭ, применив амплитудную дискриминацию сигналов на уровне 250 МэВ, можно разделить ионы только по трем диапазонам ЛПЭ в достаточно узком интервале 0,5—1,5 МэВ·см²/мг. Такое разделение связано с максимальными значениями ЛПЭ тяжелых ионов при энергиях, когда пробеги частиц в материале детектора невелики — от единиц до сотен микрон. Ионы с ЛПЭ более 5 МэВ·см²/мг будут практически полностью задержа-

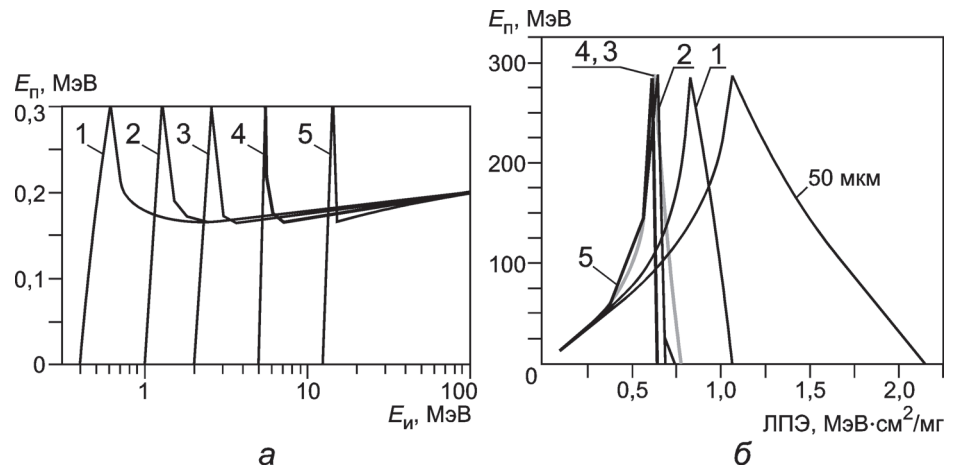


Рис. 3. Зависимость энергии, передаваемой алмазному чувствительному элементу, от исходной энергии электронов (а) и линейной передачи энергии ионов кислорода (б) при различных толщинах селективных фильтров:

1 — 0,24 мм; 2 — 0,89 мм; 3 — 2,0 мм; 4 — 4,4 мм; 5 — 9,5 мм

ны даже тонкими селективными фильтрами. Таким образом, использовать способ разделения ТЗЧ по энергетическим диапазонам с помощью селективных фильтров невозможно. Максимальная ЛПЭ 10 МэВ·см²/мг для иона кислорода соответствует полному пробегу в алмазе не более 4 мкм; длина полного пробега 300 мкм иона кислорода достигается при энергии около 16 МэВ/нуклон, при этом ЛПЭ частицы окажется 2 МэВ·см²/мг.

Исходя из зависимостей линейной передачи энергии и длины пробега в алмазе от энергии ионов, можно сделать вывод, что основная часть потока ионов с ЛПЭ в диапазоне 1—75 МэВ·см²/мг находится в диапазоне энергий до 40 МэВ/нуклон. При этом длины полных пробегов ТЗЧ указанного диапазона в алмазе не превосходят 300 мкм. Следовательно, используя АЧЭ на основе алмазной пластины толщиной 300 мкм, можно построить спектрометр полного поглощения для ионов в диапазоне ЛПЭ 1—75 МэВ·см²/мг [6]. При этом следует применять фильтр минимально возможной толщины, чтобы свести к минимуму потери ионов, имеющих большие ЛПЭ.

Спектр ЛПЭ для тяжелых ионов можно рассчитать, исходя из полученного энергетического спектра и данных по процентному составу ионов в потоке галактических и солнечных космических лучей.

Отклики АЧЭ для каждой из составляющих космического излучения, т. е. электронов, протонов и ТЗЧ, были рассмотрены выше. При работе в космосе составляющие космического излучения воздействуют одновременно на все алмазные детекторы. В результате этого выходные данные спектрометрического алмазного детектора будут соответствовать суммарным значениям потоков ионизирующих частиц для каждого детектора и диапазона амплитуд с весовыми коэффициентами, зависящими от типа и энергии частиц, попадающих в прибор. Выходные данные спектрометрического алмазного детектора можно представить в виде матрицы из N столбцов и K строк, где количество столбцов равно числу алмазных детекторов, а число строк — количеству каналов (уровней) амплитудного выходного сигнала каждого детектора. Используя матрицу выходных данных монитора,

можно с достоверностью 10 % рассчитать плотности потоков электронов, протонов и тяжелых ионов космического излучения.

Экспериментальная проверка использования алмазного детектора для спектрометрии тяжелых заряженных ионов описана в [10, 15]. Результаты апробации расчета плотностей потоков электронов, протонов и тяжелых ионов с использованием искусственной нейронной сети приведены в [6].

Вопросам метрологического обеспечения, адаптации бортовых измерительных систем космических аппаратов и оценки погрешностей измерений потоков ионизирующего излучения посвящены работы [16—18]. Основная проблема метрологического обеспечения измерений спектров потока космического излучения заключается в отсутствии эталонных источников ионизирующего излучения. Предлагается следующий порядок определения показателей измерений спектров космического излучения:

верификация и коррекция модели преобразования информации в спектрометре по результатам испытаний с использованием имеющихся эталонных источников ионизирующего излучения;

расчет неопределенностей измерений на каждом этапе преобразования информации в спектрометре с использованием скорректированной модели путем варьирования исходных спектров ионизирующего излучения;

оптимизация и верификация алгоритма расчета неопределенностей при восстановлении спектров КИ по результатам измерений неопределенностей регистрации и восстановления спектров эталонных источников ионизирующего излучения.

Для оценки результатов и погрешностей измерений авторы предлагают использовать несколько методов исследований: оценки энтропии измерительной системы; искусственных нейронных сетей; восстановления параметров потоков космического излучения путем построения оператора, обратного оператору преобразования информации в модуле контроля параметров потоков этого излучения.

Проведенный анализ построения алмазных детекторов с использованием селективных фильтров для мониторинга радиационной обстановки на космическом аппарате показал перспективность применения алмазных детекторов для построения бортовых спектрометров ионизирующего излучения со сроком службы до 20 лет.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований по приоритетному направлению «Транспортные и космические системы» Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2017 гг.». Основанием для проведения прикладных научных исследований является Соглашение о предоставлении субсидии № 14.605.21.0001 от 08 июля 2014 г. между Минобрнауки РФ и Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики».

Л и т е р а т у р а

1. **Bergonzo P., Brambilla A., Tromson D., Mer C., Guizard B., Marshall R. D., Foulon F.** CVD diamond for nuclear detection applications // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*. 2002. V. 476. P. 694—700.

2. **Berdermann E., Pomorski M., Boer W., Ciobani M., Dunst S., Grah C., Kiš M., Koenig W., Lange W., Lohmann W., Lovrinčić R., Moritz P., Morse J., Mueller S., Pucci A., Schreck M., Rahman S., Träger M.** Diamond detectors for hadron physics research // *Diam. Relat. Mater.* 2010. № 19. P. 358—367.

3. **Desorgher L., Hajdas W., Britvitch I., Egli K., Guo X., Luo Y., Chastellain F., Preira G., Muff R., Boscher D., Maehlum G., Meier D.** The Next Generation Radiation Monitor — NGRM // *Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC)*, 2013. P. 1—6.

4. **Hassler D. M., Zeitlin C., Wimmer-Schweingruber R. F., Böttcher S., Martin C., Andrews J., Böhm E., Brinza D. E., Bullock M. A., Burmeister S., Ehresmann B., Epperly M., Grinspoon D., Köhler J., Kortmann O., Neal K., Peterson J., Posner A., Rafkin S., Seimetz L., Smith K. D., Tyler Y., Weigle G., Reitz G., Cucinotta F. A.** The Radiation Assessment Detector (RAD) Investigation // *Space Sci. Rev.*, 2012.

5. **Дудник А. В., Прето М., Курбатов Е. В., Санчес С., Тимакова Т. Г., Титов К. Г., Парра П., Авилов А. М., Котов Ю. Д., Юров В. Н.** Концепция построения всенаправленной системы регистрации потоков заряженных частиц на малом космическом аппарате // *Научные эксперименты на малых космических аппаратах: сб. ИКИ РАН. М., 2013. С. 21—47.*

6. **Кадилин В. В., Колюбин В. А., Львов С. А., Недосекин П. Г., Идалов В. А., Тюрин Е. М., Колесников С. В., Самосядин В. Т.** Перспективы применения алмазных детекторов для регистрации заряженных частиц космического излучения // *Ядерная физика и инжиниринг*. 2014. Т. 5. № 2. С. 138—144.

7. **Балашов С. В., Иванов В. В., Макашов Л. И., Хартов В. В., Власова Н. А., Гецелев И. В., Иванова Т. А., Павлов Н. Н., Рейзман С. Я., Рубинштейн И. А., Сосковец Э. Н., Тверская Л. В., Тельцов М. В.** Контроль радиационной обстановки на высокоапогейных космических аппаратах // *Космонавтика и ракетостроение*. 2003. № 1(30). С. 95—101.

8. **Пат. 2167435 РФ.** Способ изготовления алмазных детекторов ионизирующего излучения / А. А. Алтухов, Н. А. Татьяна, Н. В. Еремин, А. В. Шустров, И. А. Мироненко, Г. А. Кобозева // *Изобретения. Полезные модели*. 2001. № 14.

9. **Пат. 2386982 РФ.** Детектор ионизирующих излучений / А. А. Васенков, Э. А. Ильичев, В. В. Кацоев, Л. В. Кацоев, И. К. Кочержинский, Э. А. Полторацкий, Г. С. Рычков, В. Г. Гнеденко, С. Н. Федоренко // *Изобретения. Полезные модели*. 2010. № 11.

10. **Алтухов А. А., Анашин В. С., Емельянов В. В., Козюков А. Е., Колюбин В. А., Львов С. А., Недосекин П. Г., Ситников М. Г., Скуратов В. А.** Исследования алмазного спектрометра в пучке ускоренных тяжелых ионов канала В5 циклотрона У-400М // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру*. 2013. Вып. 1. С. 85—86.

11. **Амосов В. Н., Азизов Э. А., Бланк В. Д., Гвоздева Н. М., Корнилов Н. В., Красильников А. В., Кузнецов М. С., Мещанинов С. А., Носухин С. А., Родионов Н. Б., Терентьев С. А.** Разработка детекторов ионизирующих излучений для ядерной энергетики на основе искусственного алмазного материала // *Приборы и техника эксперимента*. 2010. № 2. С. 44—51.

12. **Ибрагимов Р. Ф., Кадилин В. В., Тюрин Е. М., Колюбин В. А.** Исследование явления поляризации в алмазных детекторах ионизирующего излучения // *Вестник МИФИ*. 2014. Т. 3. № 4. С. 416.

13. Canali C., Gatti E., Kozlov S. F., Manfredi P. F., Manfredotti C., Nava F., Quirini A. Electrical properties and performances of natural diamond nuclear radiation detectors // Nucl. Instrum. Methods, 1979. № 1. P. 73—77.

14. Geant4: A toolkit for the simulation of the passage of particles through matter. [Официальный сайт]. <http://geant4.web.cern.ch/geant4/> (дата обращения 20.10.2014 г.)

15. Алтухов А. А., Герасимов А. О., Зяблюк К. Н., Колубин В. А., Львов С. А., Ситников М. Г. Анализатор спектра электронного излучения с алмазным чувствительным элементом // Вопросы атомной науки и техники. Серия Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2010. Вып. 2. С. 10—12.

16. Золотаревский Ю. М., Аневский С. И., Иванов В. С., Крутиков В. Н., Лахов В. М., Минаева О. А., Минаев Р. В. Использование синхротронного излучения для исследования многослойных наноструктур // Измерительная техника. 2010. № 7. С. 32—35.

17. Потюпкин А. Ю., Краснобабцев Ф. Ф. Адаптация бортовых измерительных систем космических аппаратов к условиям измерений // Измерительная техника. 2006. № 11. С. 3—9.

18. Воронов К. Е., Богоявленский Н. Л., Семкин Н. Д. Оценка погрешностей детектора микрометеороидных и техногенных частиц // Измерительная техника. 2005. № 12. С. 58—62.

Дата принятия 22.12.2014 г.

МЕДИЦИНСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

004.932.12

Экспертные системы в информационно-измерительных комплексах онкологической диагностики

В. Г. НИКИТАЕВ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия, e-mail: kaf46@mail.ru

Рассмотрена архитектура экспертных систем в программно-аппаратных измерительных комплексах онкологической диагностики с применением процедур распознавания изображений и на основе одного из важнейших методов онкоморфологии — гистологического. Разработаны модель знаний, модель (теоретические основы) проведения экспертных измерений. Адекватность моделей подтверждена высокой эффективностью внедрения разработанных комплексов в клинической практике.

Ключевые слова: экспертные системы, база знаний, стандартные образцы, гистологическая диагностика, онкологические заболевания, распознавание изображений.

The expert systems architecture with image recognition procedures in hardware-software measuring complexes of cancer diagnosis is considered. The histological method as the most important method of oncomorphology was used as the base. The knowledge model and the model of expert measurement procedures in high-tech information-measuring complexes of histological diagnosis of cancer were developed. The models adequacy is confirmed by the high efficiency of implementation of the developed systems in clinical practice.

Key words: expert systems, knowledge base, certified reference materials, histological diagnosis, cancer, image recognition.

Современный этап развития измерительной техники для диагностики и контроля состояния объектов различной природы характеризуется возрастающей сложностью задач и интенсивным внедрением интеллектуальных технологий в процесс измерений [1—5]. В качестве фундамента интеллектуальных технологий выступают экспертные системы и системы распознавания образов, значительная часть которых построена на принципах автоматизации обработки изображений [1—10].

Одно из главных направлений работ в области онкологической диагностики относится к созданию и развитию экспертных систем (ЭС). Здесь под экспертной системой пони-

мается программно-аппаратный комплекс, аккумулирующий опыт и знания высококвалифицированных врачей-патологоанатомов (экспертов) и призванная оказывать консультативную помощь врачам в сложных диагностических случаях (отметим, что единого, общепринятого определения ЭС в настоящее время нет). Актуальность этого направления связана с неуклонным ростом онкологических заболеваний, относящихся к социально значимым.

К важнейшим методам онкологической диагностики относится гистологический метод, позволяющий на основе измерений морфологических характеристик объектов исследований (биопсийных или операционных препаратов) уста-