

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 539.1

## ДЕТЕКТОР ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ЯДЕРНОГО КВАДРУПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА

ТИРКИЯ А.А.<sup>\*,\*\*</sup>, САДЫКОВ М.Ф.<sup>\*</sup>, ИВАНОВ Д.А.<sup>\*</sup>, КОНОВ А.Б.<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Казанский государственный энергетический университет

<sup>\*\*</sup>Казанский физико-технический институт имени Е. К. Завойского Казанского  
научного центра Российской академии наук

*В статье описывается устройство по детектированию опасных веществ на основе ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР). Также исследованы антенны различных типов конструкции.*

*Ключевые слова: ядерный квадрупольный резонанс, детекторы опасных веществ, катушки индуктивности.*

### Введение

За последние полвека было разработано немало методов обнаружения взрывчатых и наркотических веществ. Совершенствование и разработка таких методов происходит и в данный момент, т.к. проблема обеспечения безопасности населения всегда будет актуальной. Одним из таких методов, набирающих популярность в последнее время, является метод детектирования на основе ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР). Эффект ядерного квадрупольного резонанса обусловлен тем, что под воздействием внешнего электромагнитного поля происходят энергетические переходы ядер, характеризующие резонансное поглощение кристаллами образца электромагнитной энергии [1].

Возросший интерес к детекторам на основе ЯКР объясняется тем, что в состав основных взрывчатых и наркотических соединений входят молекулы азота и хлора. Наличие у ядер этих веществ квадрупольного момента и градиента электрического поля делает возможным обнаружение их методом ЯКР [2].

По типу конструкции ЯКР детекторы можно разделить на два вида: стационарные и портативные. Стационарные детекторы, с целью обеспечения безопасности, применяются для досмотра граждан, багажа, почтовых пересылок и пр. Это полностью экранированные от внешних помех и шумов крупногабаритные устройства, в которых мощность возбуждающих радиочастотных импульсов может достигать десятков киловатт. Обеспечить высокую мощность импульсов и экранировать от помех портативные детекторы конструктивно невозможно. Однако мобильность подобных детекторов предоставляет довольно широкий спектр

возможностей применения, например: поиск скрытых мин либо других запрещенных веществ в земле, стенах и пр.

### Методика и результаты исследований

Недостатком метода ЯКР является низкая чувствительность в низкочастотной области. Для примера частота квадрупольного резонанса ядер азота в соединении  $\text{NaNO}_2$  порядка 4,64 МГц [3]. Поэтому подавление помех и достижение максимально возможного значения соотношения сигнал-шум является важной и трудоемкой задачей. Одним из вариантов решения этой задачи является конструирование антенн, обладающих наиболее оптимальными характеристиками для проведения ЯКР измерений. Однозначного решения в вопросе выбора конструкции антенны на данный момент не существует, поэтому нами были исследованы антенны двух различных конструкций: цилиндрической и плоской спиральной.

В основе собранного нами ЯКР спектрометра лежит широкополосная ЯМР система *Spincore* и ряд вспомогательных блоков. Система *Spincore* отвечает как за генерацию радиочастотных импульсов, которые поступают на антенну, так и за прием и обработку полученного сигнала от образца. Основным элементом этой системы является программируемая плата со встроенным процессором, работающим на частоте до 100 МГц. Помимо платы с процессором, *Spincore* включает в себя усилитель мощности на выходе и предусилитель на входе. Этот встроенный предусилитель работает в диапазоне частот 1–200 МГц и имеет коэффициент усиления 60 дБ. Система *Spincore* управляется с помощью штатной программы, установленной на ПК. Радиочастотные импульсы поступают на вход усилителя мощности, работающего в диапазоне частот 250 кГц–105 МГц. Мощность на выходе усилителя 160 Вт. Усиленный радиочастотный импульсный сигнал проходит через разветвитель, который представляет собой последовательность встречно включенных диодов и поступает на катушку. Полученный с антенны сигнал от образца отделяется разветвителем и поступает на вход предусилителя марки *ZFL500LN*. Полоса пропускания составляет от 100 кГц до 500 МГц, коэффициент усиления по напряжению 20, питание +15В постоянного тока. В качестве источника питания для предусилителя используется свинцово-кислотный аккумулятор. Усиленный ЯКР сигнал поступает на вход системы *Spincore*. Далее штатная программа накапливает сигнал и преобразует его в частотный спектр. На рис.1 пунктирной линией выделены блоки, помещенные в экран.

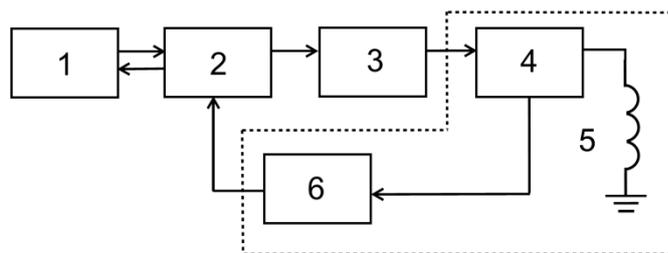


Рис.1. Блок схема ЯКР детектора 1 – ПК; 2 – широкополосная ЯМР система *Spincore*; 3 – усилитель мощности; 4 – разветвитель; 5 – антенна; 6 – предусилитель

Для ЯКР спектрометра были сконструированы датчики различных типов.

Измерения проводились на плоской спиральной и цилиндрической катушках(рис.2).



Рис. 2. Цилиндрическая и плоская спиральная катушки индуктивности, применяемые в качестве датчиков в ЯКР установке

Характеристики плоской спиральной катушки: диаметр – 110мм, число витков – 18, толщина проводника – 2,5мм, зазор между витками – 0,5мм.

Характеристики цилиндрической катушки: диаметр – 80мм, высота – 60мм, число витков – 13, толщина проводника – 2,5мм, зазор между витками – 2,5мм.

Обе катушки настраивались на резонансную частоту (около 4,64МГц) путем подключения последовательного колебательного контура (рис.3).

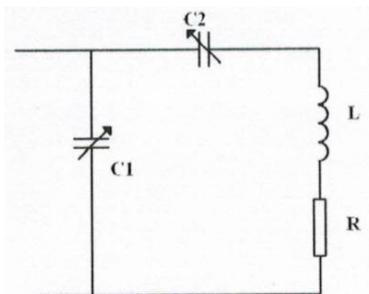


Рис.3. Последовательный колебательный контур:  $C1$  – подстроечный конденсатор;  $C2$  – резонансный

В качестве подстроечного конденсатора, отвечающего за согласование с 50 Ом цепью, использовались высоковольтные керамические конденсаторы, в качестве резонансного – вакуумный переменный конденсатор. Конденсатор  $C2$  позволяет подстроиться под частоту резонанса.

Измерения проводились на образце  $\text{NaNO}_2$  весом 100г порошкообразной формы. Образец измельчался до минимальных размеров, так как с уменьшением среднего размера кристаллитов уменьшаются времена релаксации и увеличивается полоса пропускания [4].

Условия проведения эксперимента для обеих катушек следующие: несущая частота – 4,636МГц, время длительности импульса – 50мкс, время переключения (*transienttime*) – 290мкс, время задержки повторения (*repetitiondelay*) – 100мс, количество накоплений – 512. В случае цилиндрической катушки образец помещался непосредственно внутрь антенны. В случае плоской спиральной – образец располагался на поверхности катушки. В качестве примера на рис. 4 и 5 приведены получаемые зависимости интенсивности ЯКР сигнала для плоской и цилиндрической катушек соответственно от времени, на рис. 6 и 7 – от частоты.

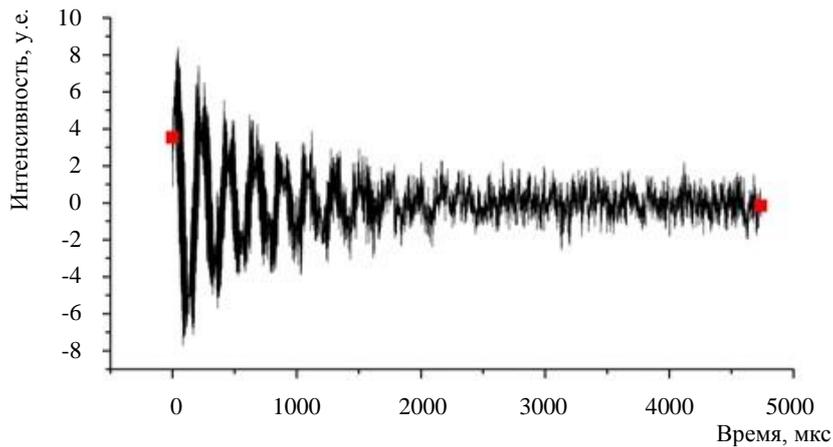


Рис. 4. Зависимость интенсивности ЯКР сигнала от времени для плоской катушки

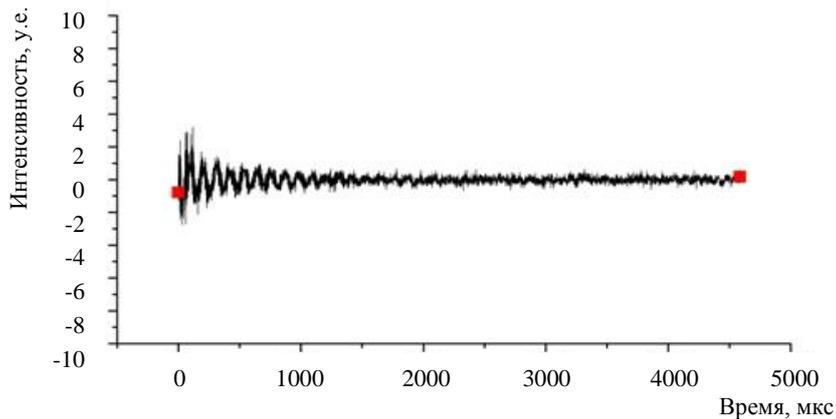


Рис. 5. Зависимость интенсивности ЯКР сигнала от времени для цилиндрической катушки

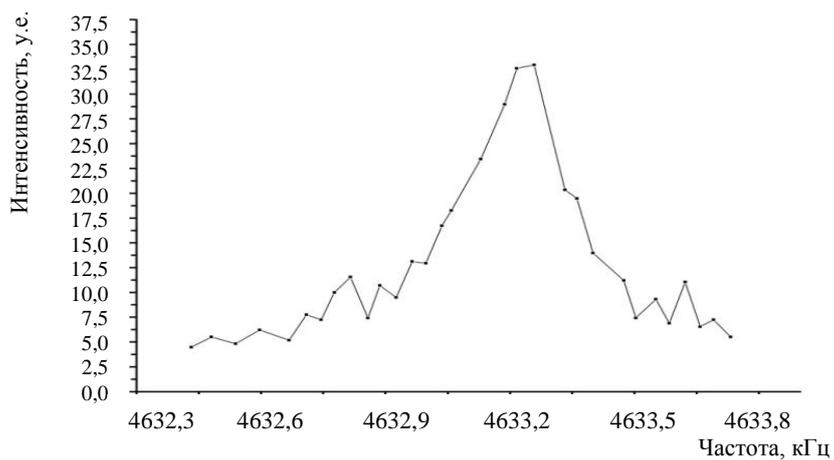


Рис. 6. Зависимость интенсивности ЯКР сигнала от частоты для плоской катушки

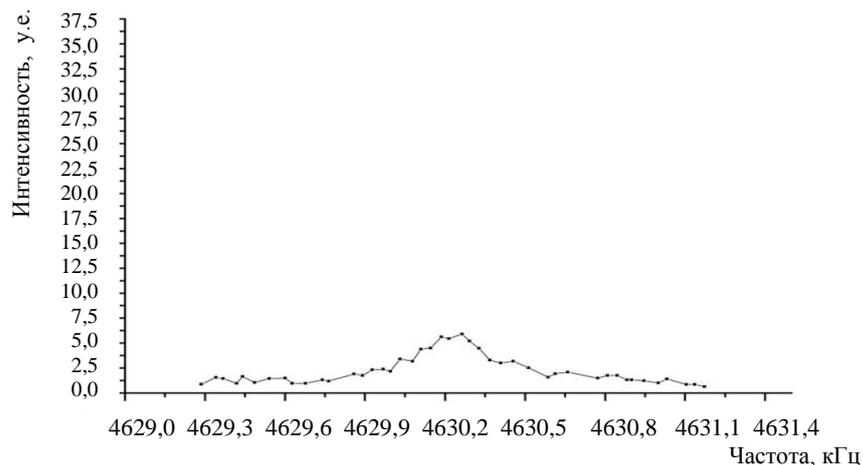


Рис.7. Зависимость интенсивности ЯКР сигнала от частоты для цилиндрической катушки

Как видно из рис. 6–7, интенсивность сигнала при использовании плоской спиральной катушки в 5,5 раза больше, чем при использовании цилиндрической.

Расчеты показали, что полоса пропускания для плоской катушки – 180Гц, для цилиндрической – 240Гц.

#### **Выводы**

Исходя из результатов исследования, можно сделать вывод, что для детекторов опасных веществ на основе ЯКР более целесообразно использовать в качестве антенн плоские спиральные катушки.

*This paper describes a device for the detection of hazardous substances based on nuclear quadrupole resonance. In addition, we investigated different types of construction of the antenna.*

*Keywords: nuclear quadrupole resonance, detectors of dangerous substances, inductor*

#### **Литература**

1. Можухин Г.В., Куприянова Г.С., Шибалкин Д.В., Федотов В.В. Оптимизация приемопередающей системы ЯКР-детекторов азотсодержащих соединений // Вестник РГУ им. И. Канта. 2007. Вып. 3. Физико-математические науки. С. 46—54.
2. Гречишкин В.С., Синявский Н.Я. Новые физические технологии: обнаружение взрывчатых и наркотических веществ методом ядерного квадрупольного резонанса // Успехи физических наук. 1997. Т.167, №4. С. 413–427.
3. Гречишкин В.С., Синявский Н.Я. Локальный ЯКР в твердых телах // Успехи физических наук. 1993. Т.163, №10. С.95–119.
4. Долиненко Ф.Н., Синявский Н.Я. Влияние размеров кристаллитов порошка на времена релаксации ЯКР // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2012. Вып. 10. С. 119—125.

*Поступила в редакцию*

*21 сентября 2016*

2.

*Тиркия Александр Александрович* – инженер-исследователь лаборатории физического приборостроения Казанского физико-технического института имени Е.К. Завойского Казанского

научного центра Российской академии наук (КФТИ КазНЦ РАН), аспирант кафедры «Теоретические основы электротехники» (ПЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 8(987)1830116. E-mail: tirkiya92@gmail.com.

**Садьков Марат Фердинантович** – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 8(903)3075540. E-mail: sadykov@kgeu.ru.

**Иванов Дмитрий Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника и светотехника» (ПЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 8(927)2483713. E-mail: light.technology.lab@gmail.com.

**Конов Андрей Борисович** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории спиновой физики и спиновой химии Казанского физико-технического института имени Е. К. Завойского Казанского научного центра Российской академии наук (КФТИ КазНЦ РАН). Тел.: 8(927)2462450. E-mail: andrey654@yandex.ru.