

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ
INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

УДК 621.396

Поступила в редакцию 02.10.2015
Received 02.10.2015

В. М. Чертков, В. К. Железняк

Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Беларусь

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОИСКА
С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИДЕНТИФИКАЦИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
СКРЫТОГО СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ**

Дан обзор основных характеристик современных нелинейных радиолокаторов (НЛ). Выявлены основные факторы, негативно влияющие на здоровье оператора. Выполнен анализ перспективных методов поиска, обнаружения и идентификации радиоэлектронных средств (РЭС). Отмечено, что достоверность идентификации РЭС зависит от выбора системы критериев их классификации. Представлен принципиально новый способ распознавания типа полупроводника на основе использования специального зондирующего амплитудно-модулируемого сигнала с подавленной несущей (АМ-сигнал). Показана возможность автоматизированной идентификации на основе разработанного способа восстановления нелинейности. Представлены результаты одного из современных и разработанного способов в виде диаграммы показателей их работы. Разработана структурная схема аппаратно-программного комплекса, позволяющая с принципиально новой возможностью автоматизировать процессы поиска и идентификации РЭС. Статья описывает термин «идентификационный портрет». Приводится способ получения идентификационного портрета. Представлены реальные и восстановленные с помощью расчета коэффициентов аппроксимирующего полинома третьей степени вольт-амперные характеристики диодов И307Г и Д18. Приведены идентификационные портреты диодов И307Г и Д18.

Ключевые слова: идентификация, радиоэлектронное средство, скрытый съём информации, зондирующий АМ-сигнал с подавленной несущей, распознавание вида нелинейности, вольт-амперная характеристика.

V. M. Chertkov, V. K. Zheleznyak

Polotsk State University, Novopolotsk, Belarus

**A HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM FOR AUTOMATED DETECTION WITH IDENTIFICATION
OF COVERT RADIOELECTRONIC MEAN**

An overview of main characteristics of modern non-linear radiolocators is presented. The main factors that negatively affect the health of operator are identified. The analysis of the effective methods of searching, detection and identification of covert radioelectronic means is carried out. It is noted that the accuracy of the radio-electronic means identification depends on the selection criteria of the classification system. It presents a fundamentally new way to recognize the type of semiconductor based on the use of a special probing AM-signal with suppressed carrier (DSB-signal). The possibility of automated identification on the basis of developed method of nonlinearity recovery is demonstrated. The results of modern and developed methods in the form of a chart of their performance are provided. The block-diagram of hardware-software system developed for detection and identification of covert radioelectronic means is designed. The term «identity portrait» is described. A method for producing an identification portrait is introduced. The work presents the real current-voltage characteristics of I307G and D18 diodes and reconstructed ones performed by calculating the approximating polynomial coefficients of the third degree. Identification portraits of I307G and D18 diodes are provided.

Keywords: identification, covert radioelectronic means, the probing DSB-signal, the reduction method of nonlinearity, current-voltage characteristic

Введение. Нелинейные радиолокаторы (НЛ) являются одним из самых эффективных средств поиска, так как могут обнаруживать и определять местоположение любого скрытого электронного устройства независимо от активного или пассивного состояния (мины и взрыватели, SIM-карты мобильных телефонов, встроенные в бетонную стену РЭС скрытого съема информации и др.) [1]. В то же время они обладают ограниченными возможностями по распознаванию искомым РЭС. Реальная среда размещения РЭС представляет совокупность элементов строительной конструкции, включающей в себя различные металлические арматурные и крепежные соединения, что вносит неопределенность в правильную идентификацию объекта, вследствие чего увеличиваются время поиска и вероятность ложной тревоги. Разработка автоматизированной системы с более высокой достоверностью поиска, обнаружения и идентификации является актуальной задачей.

Характеристики современных нелинейных радиолокаторов. Существует множество моделей отечественных и зарубежных НЛ, работающих как в непрерывном, так и в импульсном режимах излучения. Основными параметрами современных НЛ при различных принципах организации их работы являются: мощность непрерывного излучения 2–4 Вт; мощность излучения в импульсном режиме до 300 Вт; частота зондирующего сигнала 650–1100 МГц; чувствительность приемника до –140 дБм; дальность обнаружения 0,5–2 м, при импульсном режиме до 10 м; дополнительный функционал.

Проникающая глубина электромагнитной волны зависит от мощности и частоты излучения. Поскольку с повышением частоты колебаний увеличиваются затухания электромагнитной волны в среде ее распространения, то уровень мощности переотраженного сигнала тем выше, чем ниже частота зондирования локатора. Однако при низкой частоте ухудшаются возможности по локализации места нахождения РЭС, так как при соизмеримых размерах его антенн с РЭС расширяется диаграмма направленности.

Следует отметить, что повышенная мощность излучения негативно влияет на оператора и для обеспечения его безопасности максимальная мощность излучения локатора в непрерывном режиме не должна превышать 2–4 Вт, при импульсном режиме работы локатора мощность излучения в импульсе достигает 300 Вт при средней мощности, не превышающей долей и единиц ватт.

Приемники нелинейных локаторов обеспечивают дальность обнаружения полупроводниковых элементов 0,5–2 м, а в импульсном режиме излучения – не более 10 м. Точность определения местонахождения скрытых объектов в двух режимах составляет единицы сантиметров.

Чувствительность приемника является не менее важной характеристикой для сравнения при оценке способности обнаружения НЛ. НЛ с мощностью излучения 2 Вт, но с качественным приемником, может обладать более высокими характеристиками обнаружения и работать эффективнее, чем прибор с мощностью излучения 4 Вт, но с худшими параметрами приемника [2].

Современные НЛ часто содержат дополнительные функции по обнаружению и распознаванию типов соединений (полупроводниковые или ложные). Каждый производитель стремится дополнить НЛ функциями, позволяющими повысить достоверность по распознаванию типов соединений: эффект затухания, применение аудиомодуляции, частотная совместимость [2].

Анализ методов поиска, обнаружения и идентификации радиоэлектронных средств. Анализ литературных источников показал, что термин «идентификация» часто воспринимается как распознавание типа нелинейности (искусственный или естественный полупроводник) элементов в составе РЭС скрытого съема информации. Авторами данной статьи предложено использовать термин «идентификация» как установление тождественности неизвестного объекта известному объекту на основании сравнения оценочных характеристик.

Процедура идентификации РЭС с помощью НЛ включает в себя три основных процесса, следующих друг за другом, которые рассмотрены в [3]:

1. Обнаружение РЭС по присутствию нелинейного соединения: обнаружение осуществляется по наличию гармоник и по определению их уровня в спектре переотраженного сигнала.

2. Распознавание типа соединения (полупроводник или ложный полупроводник): основывается на превышении уровня гармоник относительно друг друга на порядок 20 дБ в зависимости от типа соединения и нестабильности вольт-амперной характеристики (ВАХ) точечных и плоскостных металлических контактов при механическом воздействии.

3. Идентификация РЭС: принадлежность к определенному классу на основе системы критериев.

Функциональная возможность идентификации РЭС скрытого съема информации НЛ не предусмотрена. Идентификация (отнесение к определенному классу распознаваемых объектов) возможна лишь при проведении нескольких серий измерений в ручном или автоматизированном режиме. Достоверность идентификации в значительной мере зависит от выбора системы критериев, по которой в дальнейшем они классифицируются [4].

Из анализа принципа действия НЛ следует, что наиболее информативным критерием является вид ВАХ полупроводника [5], на основе которого разрабатываются современные алгоритмы и методы идентификации [6].

Авторами данной работы предложен принципиально новый способ распознавания типа полупроводника на основе использования специального зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей [7].

На рис. 1, *а*, представлены показатели одного из современных алгоритмов распознавания, суть которого основана на физических предпосылках различной скорости изменения уровней второй и третьей гармоник отраженного сигнала при снижении мощности от максимального до минимального сигнала зондирования [8]. Показатели правильного обнаружения для электронных и ложных объектов составляют 69 и 61% соответственно. Зона неопределенности для электронных объектов составляет менее 30%, а для помеховых объектов – примерно 35%. Вероятность ложной идентификации для обоих типов объектов составляет 3%.

Показатели предложенного способа на основе зондирующего АМ-сигнала (рис. 1, *б*) повышают вероятность правильного распознавания до 90% для электронных объектов и до 84% для ложных объектов, одновременно уменьшается зона неопределенности, которая для электронных объектов составляет менее 4%, а для помеховых объектов – примерно 13%. Вероятность ложной идентификации для обоих типов объектов составляет менее 1%.

На основе представленного способа разработан новый метод идентификации РЭС скрытого съема информации и спроектирован аппаратно-программный комплекс (АПК), который позволяет его реализовать.

Структурная схема аппаратно-программного комплекса. Современные нелинейные радиолокаторы используют микропроцессорную систему управления, которая позволяет уменьшить конструктивную сложность устройства при одновременном значительном расширении функциональных возможностей, сократить время поиска РЭС скрытого съема информации, упростить наладку и обслуживание такого оборудования за счет организации самопроверки [9].

Структурная схема АПК разрабатывалась для технической реализации способа распознавания типа полупроводника на основе использования специального зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей, структура которого представлена на рис. 2. Реализованный АПК управляется программным обеспечением MATLAB, алгоритм которого производит цифровую обработку информации, полученную при анализе переизлученного зондирующего сигнала. Созданная в MATLAB программа управления представляет собой функциональный алгоритм, задающий команды микроконтроллеру в составе АПК на синтезирование зондирующего сигнала и измене-

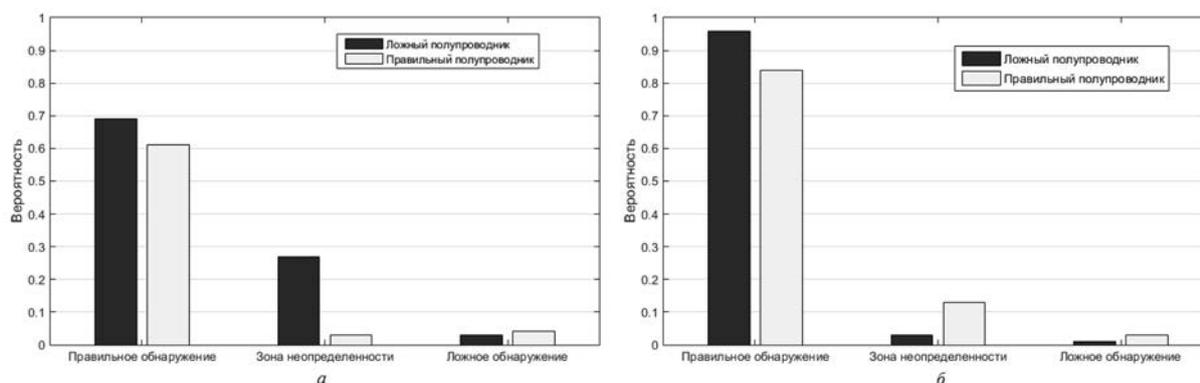


Рис. 1. Диаграмма показателей правильного и ложного обнаружения: *а* – показатели одного из современных алгоритмов распознавания; *б* – показатели предложенного способа на основе зондирующего АМ-сигнала

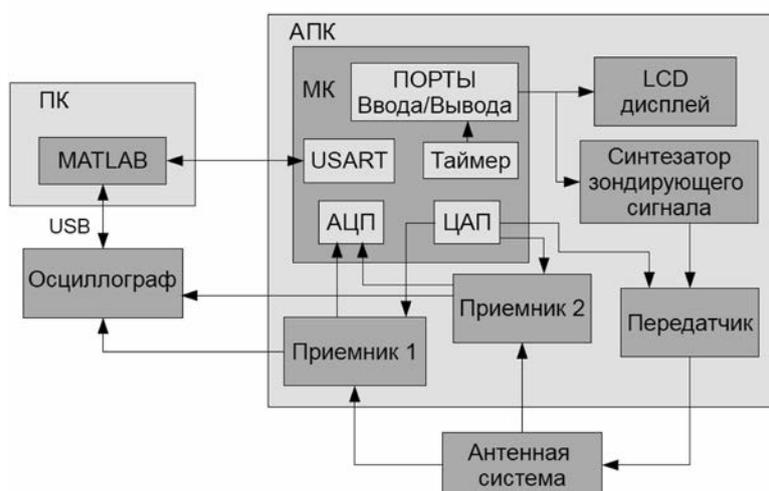


Рис. 2. Структура аппаратно-программного комплекса нелинейной радиолокации

ние его структуры. Также алгоритм регулирует уровень мощности излучения в зависимости от уровней, измеренных в каждом канале приема переотраженного от РЭС зондирующего сигнала, и идентифицирует его по результатам математической обработки получаемых данных. При этом появляется возможность эффективно исследовать нелинейность в области ее характерных частот, увеличить дальность действия НЛ, повысить достоверность идентификации РЭС скрытого съема информации.

Структура АПК включает в себя следующие элементы:

блок АПК: АПК нелинейной радиолокации без антенной системы и внешнего осциллографа;

блок ПК: персональный компьютер с программным обеспечением MATLAB для математической обработки и наглядной визуализации данных, измеренных с помощью внешнего осциллографа;

блок осциллограф: внешний осциллограф со встроенным АЦП, который управляется ПК с помощью программного обеспечения MATLAB. Предназначен для измерения данных, полученных в каждом канале приемника;

блок МК: микроконтроллер предназначен для управления различными режимами работы, выводом данных предварительной обработки, самодиагностика и настройка всех модулей АПК.

блок АЦП: аналого-цифровой преобразователь в составе микроконтроллера для обеспечения функции самодиагностики и предварительных результатов измерений;

блок ЦАП: цифроаналоговый преобразователь в составе микроконтроллера для управления мощностью передатчика, чувствительностью приемников, а также обеспечения нескольких режимов работы программного комплекса;

блок USART: универсальный последовательный приемопередатчик в составе микроконтроллера для обеспечения связи с ПК;

блок антенная система: набор антенн для передачи зондирующего АМ-сигнала и приема переотраженного от РЭС скрытого съема информации, в составе которого присутствуют радиоэлектронные компоненты.

Следует отметить, что вся система работает под управлением программного обеспечения MATLAB, установленного на ПК. Возможность организации такой системы рассмотрена в [10].

Отличительной особенностью АПК является использование прямой связи программного обеспечения MATLAB с оборудованием и периферийными устройствами, что позволит в автоматизированном режиме обработать результаты измерений и предоставить оператору сведения о характеристиках РЭС съема информации и тем самым ускорить их локализацию [11].

Автоматизированная идентификация. Важной отличительной особенностью разработанного метода является возможность автоматизации поиска и идентификации РЭС. Последняя производится на основе восстановленного вида ВАХ и идентификационного портрета, представ-

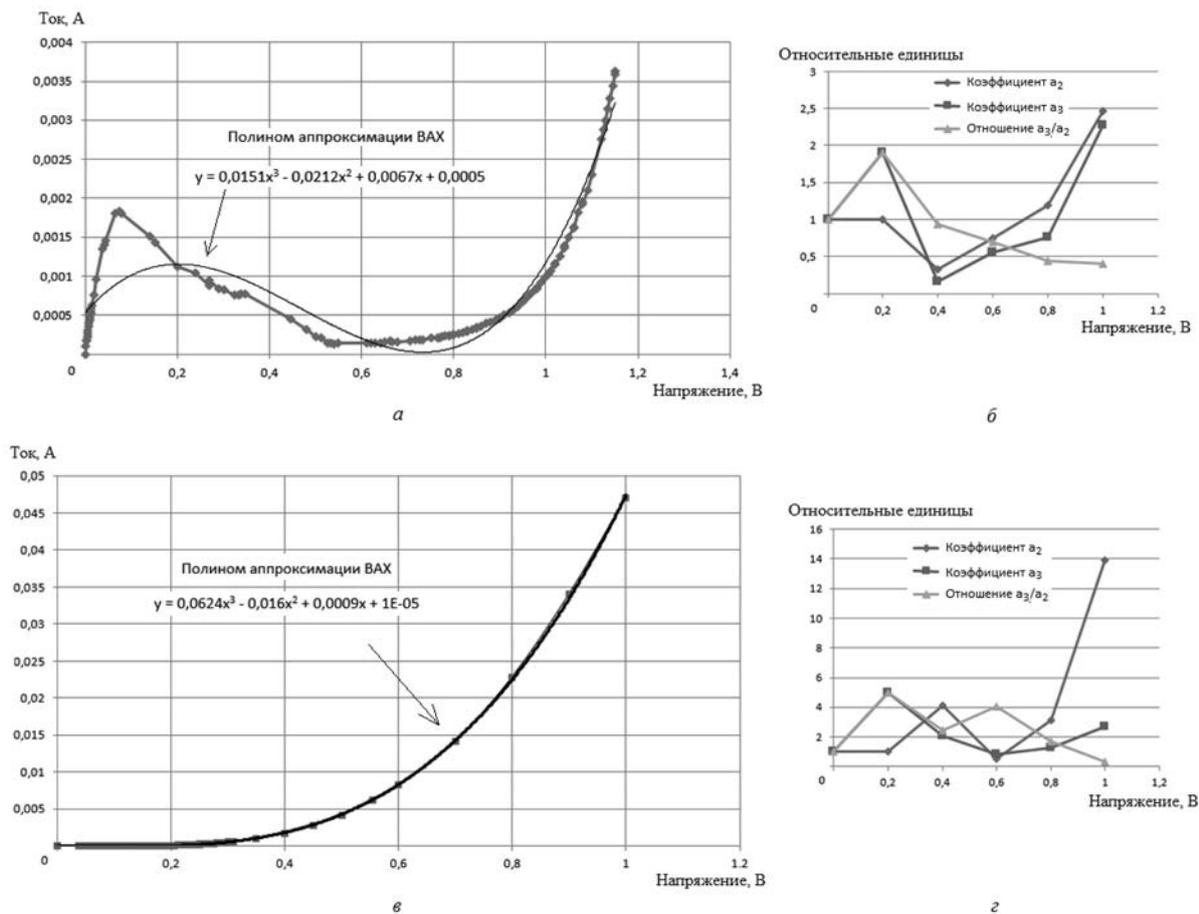


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика (а, в) и идентификационный портрет диодов ИЗО7Г (б), Д18 (г)

ляющего собой характер изменения коэффициентов аппроксимирующего полинома ВАХ, которые рассчитываются на каждом этапе увеличения мощности излучения и разности гармоник в составе зондирующего АМ-сигнала. Это позволит добиться вероятности правильной идентификации, близкой к единице. На рис. 3, а представлены реальная и восстановленная ВАХ на основе рассчитанных коэффициентов аппроксимированного полинома для диода ИЗО7Г, на рис. 3, б – его идентификационный портрет. На рис. 3, в, г показаны реальная и восстановленная ВАХ, а также идентификационный портрет диода Д18.

Идентификация предполагает поиск полученного радиолокационного портрета в имеющейся базе эталонов на основе максимума правдоподобия.

Заключение. Применение разработанного АПК и принципиально нового алгоритма идентификации РЭС существенно изменяет представление о возможностях нелинейной радиолокации применительно к задаче поиска РЭС скрытого съема информации. Их совместное применение позволит повысить достоверность идентификации РЭС скрытого съема информации, эффективность поиска и сократить время локализации РЭС. Операторы НЛ будут иметь возможность не только обнаружения, но и получения информации о характеристиках РЭС.

Список использованных источников

1. Чертков, В. М. Использование фазоманипулированного сигнала в задачах нелинейной радиолокации / В. М. Чертков, С.В. Мальцев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2010. – № 3. – С. 129-134.
2. Джонс, Т. Х. Обзор технологии нелинейной локации [Электронный ресурс] / Т. Х. Джонс. – Режим доступа: http://www.sinf.ru/catalog/sp_articles/article03.htm. – Дата доступа: 05.11.2015.
3. Чертков, В. М. Определение электрофизических свойств объекта методами нелинейной радиолокации / В. М. Чертков, С. В. Мальцев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2012. – № 4. – С. 99–102.

4. Чертков, В. М. Идентификация радиоэлектронных средств скрытого съема информации средствами нелинейной радиолокации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Современные средства связи: материалы XX Междунар. науч.-техн. конф., 14–15 окт. 2015 года, Минск, Респ. Беларусь; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск: УО ВГКС, 2015. – С. 210–211.
5. Чертков, В. М. Повышение надежности идентификации нелинейных объектов / В. М. Чертков, С. В. Мальцев // Информатика, математическое моделирование, экономика: сборник науч. статей по итогам III Междунар. науч.-прак. конф., г. Смоленск, 24–26 апреля 2013 г. В 3-х т. Т. 2. – Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации. 2013. – С. 77–80.
6. Чертков, В. М. Поиск и обнаружение нелинейных объектов с распознаванием типа нелинейности на основе их электрофизических свойств / В. М. Чертков, С. В. Мальцев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2013. – № 4. – С. 105–109.
7. Чертков, В. М. Метод повышения достоверности идентификации закладных устройств с применением DSB-сигнала / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Интеллектуальные системы на транспорте: материалы V междунар. науч.-прак. конф. «ИнтеллектТранс-2015». – СПб.: ПГУПС, 2015. – С. 293–298.
8. Каргашин, В. Л. Нелинейная ближняя радиолокация. Новые алгоритмы идентификации электронных устройств / В. Л. Каргашин, В. Н. Ткач, Д. В. Ткачев // Специальная техника. – 2006. – № 6. – С. 42–48.
9. Чертков, В. М. Программное управление аппаратно-программным комплексом автоматизированного поиска радиоэлектронных средств скрытого съема информации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015): материалы междунар. научной конференции, 28 окт. 2015 года, Минск, Респ. Беларусь / БГУИР; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.] – Минск: БГУИР, 2015. – с. 34–35.
10. Чертков, В. М. Модель системы управления на основе обработки и анализа данных в режиме реального времени инструментами matlab / В. М. Чертков // Техника и технология: новые перспективы развития. – 2014. – № XV. – С. 111–118.
11. Способ обнаружения нелинейного объекта с идентификацией типа нелинейности : пат. 19665 Респ. Беларусь, G 01S 13/00 (2006.01), G 01S 13/88 (2006.01) / В. М. Чертков, С. В. Мальцев; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № a20121580; заявл. 16.11.2012 г. опубл. 30.12.2015 г. // Официальный бюл. / Нац. центр интеллектуал. собственности. – 2015. – № 6. – С. 76.

References

1. Chertkov, V. M. and Maltsev, S.V. (2010), "Phase-keying signal utilization for nonlinear radar location tasks", *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya S: Fundamental'nye nauki* [Herald of Polotsk State University. Series C, Fundamental sciences], no. 3, pp. 129–134.
2. Dzgons, T. H. "Obzor tekhnologii nelineynoy lokatsii", Available at: http://www.sinf.ru/catalog/sp_articles/article03.htm, (Accessed 05 November 2015).
3. Chertkov, V. M. and Maltsev, S. V. (2012), "Determination of object's electrophysical properties by methods of nonlinear radiolocation", *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya S: Fundamental'nye nauki* [Herald of Polotsk State University. Series C, Fundamental sciences], no. 4, pp. 99–102.
4. Chertkov, V. M. and Zheleznyak, V. K. (2015), "Nonlinear radar for identification of hidden radio-electronic", *Sovremennye sredstva svyazi: materialy XX Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Articles XX International scientific-technical conference «Modern means of communication»], Minsk, BY, pp. 210–211.
5. Chertkov, V. M. and Maltsev, S. V. (2013), "Improving the reliability of the identification of nonlinear objects", *Informatika, matematicheskoe modelirovanie, ekonomika: sbornik nauch. statei po itogam III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Collection of scientific articles on the results of the III scientific-technical conference «Information technology, mathematical modeling, the economy»], Smolensk, RU, vol. 2, pp. 77–80.
6. Chertkov, V. M. and Maltsev, S. V. (2013), "The search and detection of non-linear objects with recognition of nonlinearity based on their electrophysical properties", *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya S: Fundamental'nye nauki* [Herald of Polotsk State University. Series C, Fundamental sciences], no. 4, pp. 105–109.
7. Chertkov, V. M. and Zheleznyak, V. K. (2015), "The Method for increasing reliability of the identification of embedded devices using DSB-signal", *Intellektual'nye sistemy na transporte: Materialy V mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "IntellektTrans-2015"* [Articles V International scientific-practical conference «Intelligent transport systems (IntellektTrans-2015)»], St. Petersburg, RU, pp. 293–298.
8. Kargashin, V. L., Tkach, V. N. and Tkachev, D.V. (2004), "Nonlinear short-range radar. New algorithms for the identification of electronic devices", *Spetsial'naya Tekhnika* [Special Technics], no. 6, pp. 42–48.
9. Zheleznyak, V. K. (2015), "Software control of hardware-software system for automated search of hidden radio-electronic means", *Informatsionnye tekhnologii i sistemy 2015 (ITS 2015): materialy mezhdunar. nauchnoi konferentsii* [Articles of the International Scientific Conference «Information Technologies and Systems 2015 (ITS 2015)»], Minsk, BY, pp. 34–35.
10. Chertkov, V. M. (2014), "The control system model based on processing and analysis data in real time of instruments MATLAB", *Tekhnika i tekhnologiya: novye perspektivy razvitiya* [Technique and technology: new prospects], no. 15, pp. 111–118.
11. Chertkov, V. M. and Maltsev, S.V. (2015), *Sposob obnaruzheniya nelineinogo ob'ekta s identifikatsiei tipa nelineinosti* [The method for detecting non-linear object with an identification type of the nonlinearity], BY, Pat. 19665.

Информация об авторах

Железняк Владимир Кириллович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоэлектроники. Полоцкий государственный университет (211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29, Беларусь). E-mail: v.zheleznjak@psu.by

Чертков Валерий Михайлович – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры радиоэлектроники. Полоцкий государственный университет (211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29, Беларусь). E-mail: v.chertkov@psu.by

Для цитирования

Чертков, В. М. Аппаратно-программный комплекс автоматизированного поиска с возможностью идентификации радиоэлектронных средств скрытого съема информации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Вес. Нац. акад. Сер. фіз.-тэх. навук – 2016. – № 4. – С. 99–105.

Information about the authors

Zheleznyak Vladimir Kirillovich – D. Sc. (Engineering), Professor, Head of Department of Radio Electronics. Polotsk State University. (29 Blokhina str., 211440, Novopolotsk, Belarus). E-mail: v.zheleznjak@psu.by

Chertkov Valery Mihailovich – master of engineering, senior lecturer, the Department of Radio Electronics. Polotsk State University (29 Blokhina str., 211440, Novopolotsk, Belarus). E-mail: v.chertkov@psu.by

For citation

Chertkov V. M, Zheleznyak V. K. A Hardware-software system for automated detection with identification of covert radioelectronic mean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, physical-technical series*. 2016, no. 4, pp. 99–105.