УДК 681.586'34.008.6

БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ[1]

WIRELESS NETWORK FOR MACHINERY CONDITION MONITORING

[1] **Костюков Владимир Николаевич**
д-р техн. наук, профессор,
академик Российской инженерной академии,
Председатель Совета директоров
E-mail: post@dynamics.ru

[2] **Косых Анатолий Владимирович**
д-р техн. наук, профессор, ректор
E-mail: avkosykh@omgtu.ru

[1] **Науменко Александр Петрович**
д-р техн. наук, доцент
E-mail: post@dynamics.ru

[2] **Завьялов Сергей Анатольевич**
канд. техн. наук, доцент

[1] **Бойченко Сергей Николаевич**
канд. техн. наук, зам. ген. директора по науке
E-mail: post@dynamics.ru

[1] **Костюков Алексей Владимирович**
канд. тех. наук, первый зам. ген. директора — технический директор
E-mail: post@dynamics.ru

[1] **ООО "Научно-производственный центр "Динамика", Омск**

[2] **Омский государственный технический университет", Омск**

[1] **Kostyukov Vladimir N.**
D. Sc. (Tech.), Professor,
Member of the Russian Engineering Academy,
Chairman of the Board of Directors
E-mail: post@dynamics.ru

[2] **Kosykh Anatoly V.**
D. Sc. (Tech.), Professor, Rector
E-mail: avkosykh@omgtu.ru

[1] **Naumenko Alexander P.**
D. Sc. (Tech.), Associate Professor
E-mail: post@dynamics.ru

[2] **Zavyalov Sergey A.**
Ph. D. (Tech.), Associate Professor

[1] **Bojchenko Sergej N.**
Ph. D. (Tech.), Deputy General Director for Science
E-mail: post@dynamics.ru

[1] **Kostyukov Alexey V.**
Ph. D. (Tech.),
First Deputy General Director—Technical Director
E-mail: post@dynamics.ru

[1] **Scientific and Production Center "Dynamics", Ltd., Omsk**

[2] **Omsk state technical university", Omsk**

Аннотация: Описаны элементная база, структура, программное обеспечение и основные характеристики беспроводной системы мониторинга технического состояния оборудования, работающей в нелицензируемом диапазоне частот.

Ключевые слова: выносные датчики вибраций, автономный цифровой радиодатчик, Гауссовская модуляция, приемопередатчики, микроконтроллер.

Abstract: In this paper the hardware, design, software and main performances of the machinery condition wireless monitoring system are presented. The system works in no license required wave band.

Keywords: remote vibration sensors, autonomous digital radio sensor, Gaussian modulation, transmitters, microcontroller.

[1] Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 15-19-00267 от 19.05.2015.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка работающей в нелицензируемом диапазоне частот беспроводной системы сбора и передачи в реальном времени диагностической информации о техническом состоянии оборудования с возможностью синхронной работы объектовых устройств — актуальная научно-техническая задача.

Анализ существующих технических решений в области беспроводных технологий передачи данных [1—20] показал, что большинство беспроводных систем сбора и передачи, например вибродиагностической информации, построено на технологиях ячеистых самоорганизующихся сенсорных сетей. Наиболее популярен для реализации таких сетей стандарт IEEE 802.15.4 с протоколами верхнего уровня WirelessHART и ZigBee. Ожидается переход на протокол ISA-100.11a.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Для реализации беспроводной системы сбора вибродиагностической информации (ВДИ) выбран вариант беспроводного измерительного модуля с выносными вибродатчиками (ВД). Модуль размещается оптимально для обеспечения надежной радиосвязи; ВД при этом можно устанавливать в необходимую точку измерения на оборудовании, соединяя их с измерительным устройством посредством кабеля.

Основная задача системы сбора ВДИ — первичное преобразование, предварительная обработка сигналов ВД и передача их в систему обработки данных верхнего уровня [21—26].

Устройства первичного преобразования и обработки сигналов ВД логически и физически отделены от сети передачи информации, что позволяет независимо друг от друга развивать как устройства, алгоритмы и программное обеспечение (ПО) обработки сигналов ВД, так и систему сбора и передачи информации. При таком подходе возможна унификация системы передачи информации и использование ее в других индустриальных системах контроля и диагностики.

Базовый радиомодуль точки сбора ВДИ, т. е. контроллер радиосети — RNC (Radio Network Controller) содержит приемопередатчик, управляющий микропроцессор и интерфейсный блок для связи с персональным компьютером (ПК) (рис. 1).

Основными функциональными блоками радиодатчика (рис. 2) являются:

— первичный преобразователь-усилитель сигнала ВД;

— аналого-цифровой преобразователь;

— процессор обработки сигналов и управления (МК);

— система управления автономным питанием с аккумулятором (АКБ);

— приемопередатчик.

В радиодатчике в силу жестких требований по массогабаритным показателям применены однокристальные трансиверы, включающие полный тракт приема-передачи: синтезатор частоты, модулятор, усилитель мощности, малошумящий усилитель, демодулятор, тракт промежуточной частоты и т. д.

Радиодатчик выполнен в виде двух модулей — модуля трансивера (приемопередатчика) MTR и модуля цифровой обработки сигналов DSP, что соответствует концепции разделения среды передачи данных от средств обработки сигналов.

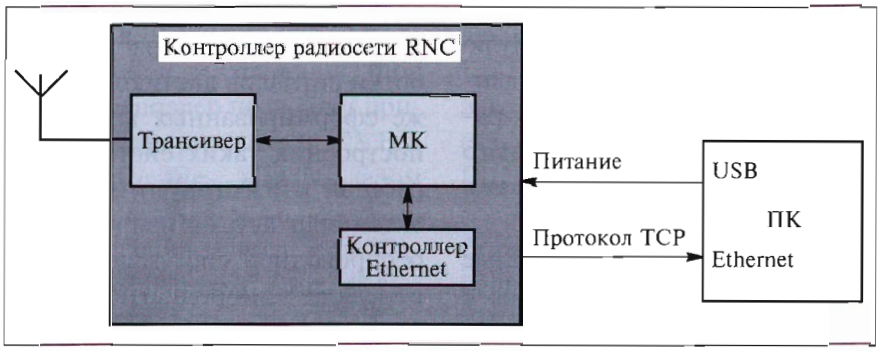

Рис. 1. Структура базового радиомодуля сбора информации

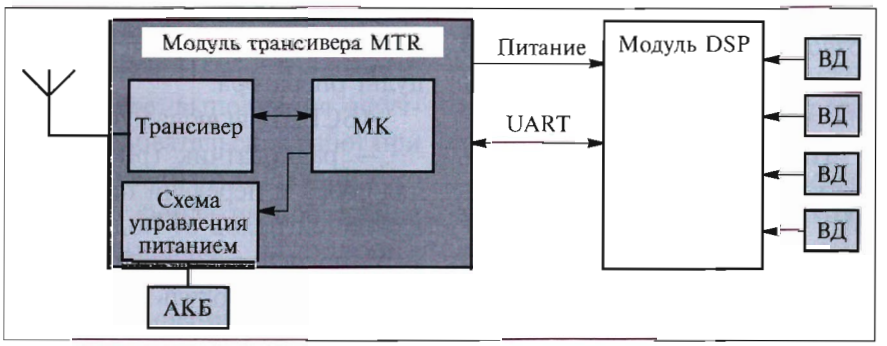

Рис. 2. Структура модулей MTR и DSP

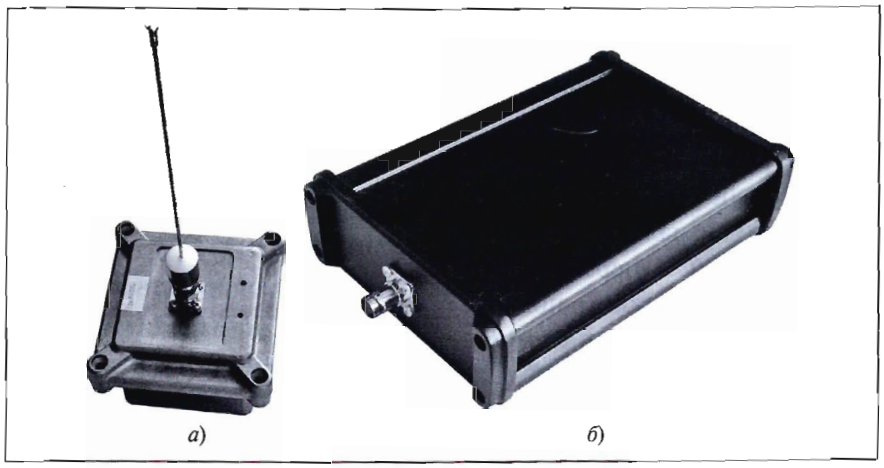

Рис. 3. Конструктивное исполнение:
а — радиодатчик; *б* — контроллер сети

Модуль MTR содержит управляющий МК, приемопередающее устройство, схему управления электропитанием и зарядом АКБ, вторичный источник электропитания 3,3 В, разъем для подключения антенны, индикаторный светодиод. МК обеспечивает управление приемопередатчиком и схемой электропитания, дешифрацию пакетов, переданных по радиоинтерфейсу и их трансляцию модулю DSP, трансляцию пакетов данных от модуля DSP через радиоинтерфейс для ПО верхнего уровня, управление режимами энергосбережения.

Как известно, сглаженные сигналы, такие как сигналы с Гауссовской частотной манипуляцией (GFSK) и Гауссовской частотной манипуляцией с минимальным сдвигом (GMSK), позволяют обеспечить высокую плотность каналов в частотном диапазоне.

Поскольку помехоустойчивость GFSK сигнала с параметрами $h = 1$ и $BT_{сим} = 0{,}5$ (h — индекс модуляции, B — частота среза амплитудно-частотной характеристики гауссовского фильтра на уровне —3 дБ, $T_{сим}$ — длительность символа) лучше помехоустойчивости GMSK на 4 дБ, в системе радиопередачи ВДИ применена GFSK модуляция.

В результате обзора элементной базы для радиодатчика выбраны микросхема трансивера ADF7020 и микроконтроллер LPC1114.

На основе анализа уровня развития техники и технологий в области построения беспроводных систем сбора и обработки сигналов датчиков, а также сформированных критериев построения таких систем, разработан и изготовлен опытный экземпляр автоматизированной беспроводной системы сбора и передачи вибродиагностической информации (АБСВДИ) для мониторинга состояния технологического оборудования путем передачи по радиоканалу и последующей передачи на пульт оператора.

АБСВДИ включает в себя:

— радиодатчик (рис. 3, *а*), для сбора и передачи по радиоканалу сигналов от подключаемых посредством кабеля ВД, содержащий модуль обработки сигналов ВД и модуль приемопередатчика;

Технические характеристики радиодатчика

Рабочий диапазон частот, МГц	433,92 ± 0,2 %
Межканальный разнос частоты, кГц	500
Количество поддерживаемых частотных каналов	69
Число каналов:	
на прием	1
на передачу	1
Излучаемая мощность, мВт	10
Чувствительность, дБм	−101
Скорость передачи информации, кБит/с	112,5
Модуляция	GFSK
Тип антенного разъема	BNC, 50 Ом
Напряжение АКБ, В	3,3
Климатическое исполнение	IP-67 по ГОСТ 14254—96

— контроллер сети (рис. 3, *б*), для приема ВДИ, переданной радиодатчиком, с последующей передачей на ЭВМ оператора по протоколу Ethernet, а также для передачи команд управления на радиодатчик.

Технические характеристики контроллера сети

Рабочий диапазон частот, МГц	433,92 ± 0,2 %
Межканальный разнос частоты, кГц	500
Количество поддерживаемых частотных каналов	69
Число каналов:	
на прием	2
на передачу	1
Излучаемая мощность, мВт	10
Чувствительность, дБм	−101
Скорость передачи информации, кБит/с	112,5
Модуляция	GFSK
Емкость системы	128 радиодатчиков
Тип антенного разъема	BNC, 50 Ом
Напряжение питания, В	5 (от USB)
Климатическое исполнение	IP-67 по ГОСТ 14254—96

Радиодатчик осуществляет измерение сигналов ВД, их обработку и передачу по радиоканалу. Устройство позволяет подключать до четырех датчи-

ков вибрации или три датчика вибрации и датчик угла поворота вала, имеет автономное питание от встроенных АКБ и может передавать не только измеренные данные, но и транслировать аналоговый сигнал. Это является существенным отличием данной системы, позволяющим производить обработку сигналов с помощью ПК и разработанного ПО как в реальном времени, так и с использованием пост-обработки сигналов и данных, например, трендов параметров.

Исключение соединительного кабеля и наличие активных компонентов требует наличия в ВД автономной системы питания. Установлен циклический режим работы ВД, причем в каждом из режимов (ожидание, измерение, передача) обеспечивается минимально необходимая потребляемая мощность, что позволяет минимизировать суммарное потребление и увеличить продолжительность автономной работы ВД.

Контроллер сети содержит два канала приема, один из которых также работает на передачу. Это позволяет повысить скорость передачи информации за счет одновременного опроса двух радиодатчиков.

Связь контроллера сети с диагностическим контроллером (ДК) осуществляется посредством двух протоколов: USB и Ethernet TCP (LAN). Посредством USB осуществляется электропитание контроллера и его программирование. Через LAN осуществляется управление контроллером сети и обмен информацией с диагностической станцией (ДС). Для управления контроллером сети через ДК разработано ПО с графическим

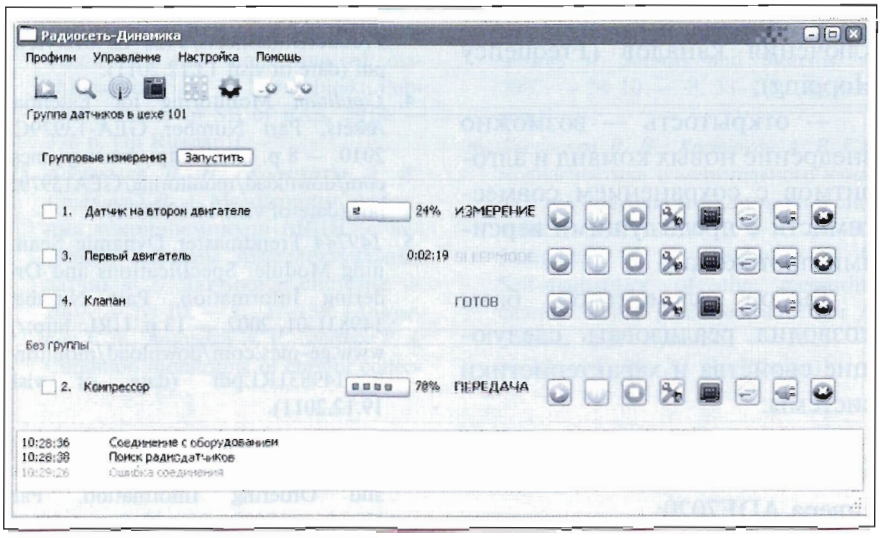

Рис. 4. Интерфейс программы управления контроллером сети

интерфейсом, позволяющее посредством специальных команд и на основании протокола верхнего уровня управлять системой передачи ВДИ, переводить ее в тестовые режимы, а также отображать информацию о качестве текущего канала связи.

Контроллер сети принимает информацию по радиоканалу и передает ее по протоколу Ethernet в ДС для последующего отображения и хранения, при этом контроллер позволяет принимать информацию от 128 ВД.

Управление контроллером сети осуществляется с помощью специализированного ПО "Радиосеть-Динамика" (рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате совместных работ специалистов Омского государственного технического университета и НПЦ "Динамика" в процессе выполнения научно-исследовательских работ при поддержке гранта Российского научного фонда на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований в соответствии с Соглашением № 15-19-00267 от 19.05.2015 разработана автоматизированная беспроводная система сбора и передачи диагностической информации, работающая в нелицензируемом диапазоне радиочастот, с возможностью синхронной работы объектовых устройств, которая предназначена для мониторинга технического состояния технологического оборудования в реальном времени.

Разработанные протоколы и алгоритмы взаимодействия составных частей системы сбора ВДИ обеспечивают:

— надежность передачи информации — предусмотрен контроль правильности передачи информации, квитирование, переповторы;

— универсальность — возможный объем передаваемой информации не зависит от направления передачи; протокол не привязан к характеру передаваемой информации;

— адаптивность — предусмотрены механизмы переключения частотных каналов и изменения длин пакетов; при дальнейшем развитии протокола возможно внедрение техно-

логии псевдослучайного переключения каналов (Frequency Hopping);

— открытость — возможно внедрение новых команд и алгоритмов с сохранением совместимости с предыдущими версиями протокола.

Выбор элементной базы позволил реализовать следующие свойства и характеристики системы:

— низкое энергопотребление МК (110 мкА/МГц) и трансивера ADF7020;

— высокую вычислительную мощность 32-разрядного МК с ядром Cortex;

— высокое качество радиоканала — трансивер поддерживает эффективный вид модуляции GFSK, демодулятор приемника выполнен на базе цифрового коррелятора;

— минимальное количество элементов на плате: фильтр промежуточной частоты приемника цифровой, не требуются внешние фильтры.

Характеристики и тактико-технические параметры разработанной системы не уступают лучшим мировым образцам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хамов А. А.* Беспроводные решения Smart Wireless от компании Emerson для автоматизации технологических процессов // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2008. — № 5. — С. 57—59. [*Khamov A. A.* Smart Wireless solutions from the Emerson company for automation of technological processes // Industrial management information systems and controllers. — 2008. — № 5. — P. 57—59. (In Russian)].
2. *Official* site of the Rohrback Cosasco Systems. URL: http://www.cosasco.com/russian.php (date of visit 11.12.2011).
3. *CSI 9420* Wireless Vibration Transmitter: Product Data Sheet, 2010. — 12 p. — URL: http://www2.emerson-process.com/siteadmincenter/PM%20Asset%20Optimization%20Documents/ProductDataSheets/9420_ds_overview.pdf (date of visit 13.12.2011).
4. *Condition* Monitoring for Essential Assets, Part Number GEA-13979C, 2010. — 8 p. URL: http://www.ge-mcs.com/download/monitoring/GEA13979.pdf (date of visit 16.12.2011).
5. *149744* Trendmaster Dynamic Scanning Module: Specifications and Ordering Information, Part Number 149831-01, 2002. — 13 p. URL: http://www.ge-mcs.com/download/monitoring/149831R1.pdf (date of visit 19.12.2011).
6. *Essential* Insight. mesh — Wireless Condition Monitoring: Specifications and Ordering Information, Part Number 185301-01, 2010. — 22 p. URL: http://www.ge-mcs.com/download/monitoring/185301C.pdf (date of visit 21.12.2011).
7. Company production list "Dust Networks". URL: http://www.dustnetworks.com/products (date of visit 23.12.2011).
8. *Bring* Real-Time Wireless Condition Monitoring to Nevada Energy, 2011. — 2 p. URL: http://www.dustnetworks.com/system/files/GE_Case_Study.pdf (date of visit 23.12.2011).
9. *Семейство* интеллектуальных датчиков ZET Sensor. URL: http://www.zetms.ru/catalog/smart_sensor (дата посещения 24.12.2011). [Smart ZET-Sensors family. URL: http://www.zetms.ru/catalog/smart_sensor (date of visit 24.12.2011). (In Russian)].
10. *Пушкарев О.* Передача данных в ZigBee-сети с помощью модулей XBee ZNet 2.5 // Новости электроники. — 2008. — № 3. — С. 27—31. [*Pushkarev O.* Data transmission in ZigBee-network by means of XBee ZNet 2.5 modules // News of electronics. — 2008. — № 3. — P. 27—31. (In Russian)].
11. *Беспроводной* датчик вибрации компании "Овентикс". URL: http://www.owentix.com/ru/ow_prom_component.php (дата посещения 11.01.2012). [Wireless vibration sensor of the Oventiks company. URL: http://www.owentix.com/ru/ow_prom_component.php (date of visit 11.01.2012). (In Russian)].
12. *Беспроводной* датчик вибрации и температуры (БДК-ВТ) ООО "НТЦ Транспорт". URL: http://vibraomsk.ru/prod_one.php?id=21&pic=0 (дата посещения 11.01.2012). [Wireless sensor of vibration and temperature (BDK-VT) of JSC STC Transport. URL: http://vibraomsk.ru/prod_one.php?id=21&pic=0 (date of visit 11.01.2012). (In Russian)].
13. *Wireless* Sensor Module "Oceana Sensor Technologies". URL: http://www.oceanasensor.com/wireless.php (date of visit 11.01.2012).
14. *WiFi* Vibration Transmitter 3008-0606-V3 "Point Six Wireless". URL: http://www.pointsix.com (date of visit 12.01.2012).
15. *WiFi* Wireless Vibration Sensor "Walker Wireless". URL: http://www.walkerwirelessco.com (date of visit 12.01.2012).
16. *WiMon* 100 Wireless Vibration Sensor "ABB". URL: http://www05.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/54b346e05a51227d8525771b0054a751/$file/tv0015_wimon_100_wireless_vibration_sensor.pdf (date of visit 12.01.2012).
17. *RH501* Wireless Vibration Transducer "ROZH Ltd.". URL: http://www.rozh.com.cn/en/?page=category&categoryid=74&pid=73 (date of visit 12.01.2012).
18. *Wireless* Vibration Transmitter OMWT-VIB "OMEGA ENGINEERING, Inc.". URL: http://www.omega.com/DAS/pdf/OMWT-VIB.pdf (date of visit 12.01.2012).
19. *Echo* Wireless Vibration Sensors "IMI Sensors". URL: http://www.imi-sensors.com/ContentImages/downloads/IMI_Echo_Lowres.pdf (date of visit 12.01.2012).
20. *Wireless* Accelerometer Model 7034000-I "Techkor Instrumentation". URL: http://www.techkor.com/7034.html (date of visit 12.01.2012).
21. *Беспроводный* интеллектуальный вибродатчик 5120. URL: http://www.dynamics.ru/products/controllers-moduls-sensors/besprovodnyy-intellektualnyy-vibrodatchik-5120/ (дата посещения 31.07.2015). [Wireless smart vibration sensor 5120. URL: http://www.dynamics.ru/products/controllers-moduls-sensors/besprovodnyy-intellektualnyy-vibrodatchik-5120/ (date of visit 31.07.2015). (In Russian)].
22. *Костюков В. Н.* Мониторинг безопасности производства. — М.: Машиностроение, 2002. — 224 с. [*Kostyukov V. N.* Monitoring of production safety. — Moscow: Mechanical engineering, 2002. — 224 p. (In Russian)].
23. *Костюков В. Н., Бойченко С. Н., Костюков А. В.* Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР™ КОМПАКС®). — М.: Машиностроение. 1999. — 163 с.

[*Kostyukov V. N., Boychenko S. N., Kostyukov A. V.* Automated control systems for safe resource-saving operation of machinery of oil processing and petrochemical productions (ASU BER™ — COMPACSC®). — Moscow: Mechanical engineering, 1999. — 163 p. (In Russian)]

24. *Костюков В. Н., Науменко А. П.* Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: уч. пособие. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. — 378 с. [*Kostyukov V. N., Naumenko A. P.* Bases of vibroacoustic diagnostics and monitoring of machines: tutorial. — Novosibirsk: Publishing house of SB of RAS, 2014. — 378 p. (In Russian)].
25. *Костюков В. Н., Костюков А. В., Стариков В. А.* Мониторинг состояния токоприемников МВПС с помощью системы интеллектуальных датчиков // Датчики и системы. — 2007. — № 10. — С. 33—38. [*Kostyukov V. N., Kostyukov A. V., Starikov V. A.* Condition monitoring of current collectors of MDRS using the system of smart sensors // Sensors and Systems. — 2007. — № 10. — P. 33—38. (In Russian)]
26. *Костюков В. Н., Костюков А. В.* Самодиагностика измерительного канала с пьезодатчиком // Датчики и системы. — 2013. — № 12. — С. 26—30. [*Kostyukov V. N., Kostyukov A. V.* Self-diagnostics of the measuring channel with a piezoelectric sensor // Sensors and Systems. — 2013. — № 12. — P. 26—30. (In Russian)]

УДК 681.883.062

ОБНАРУЖИТЕЛЬ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ПОМЕХ

DETECTOR SIGNAL ON THE BACKGROUND NOISE

Ушаков Константин Александрович
аспирант
E-mail: kostantin_smith@mail.ru

Инженерная школа Дальневосточного федерального университета, Владивосток

Ushakov Konstantin A.
Postgraduate
E-mail: kostantin_smith@mail.ru

Far Eastern Federal University, engineering school, Vladivostok

Аннотация: Представлены результаты теоретических исследований корреляционного обнаружителя сигналов с разнесенными в пространстве электроакустическими преобразователями.

Ключевые слова: сигнал, электроакустический преобразователь, пространственный фильтр.

Abstract: This article describes the results of theoretical studies of the correlation detector signals with spaced electroacoustic transducers.

Keywords: signal, electroacoustic transducer, spatial filter.

ВВЕДЕНИЕ

При решении задачи обнаружения сигналов на фоне помех возможны случаи, когда на входе обнаружителя присутствует только помеха или смесь сигнала с помехой. Наиболее эффективно эту задачу решают оптимальные обнаружители сигналов. Оптимальным приемником известного сигнала является устройство, определяющее корреляционную функцию между входным процессом и опорным (известным) сигналом [1—3]. В процессе обработки входных процессов должны выполняться операции умножения входного процесса на известный сигнал, изменение временной задержки между входным процессом и известным сигналом и временное усреднение.

В случае неизвестного сигнала в тракте обработки оптимального обнаружителя кроме фильтрации и усиления должны выполняться операции возведения в квадрат с последующим интегрированием во времени. Операция возведения в квадрат является нелинейной. Поэтому пространственный фильтр (ПрФ), алгоритм обработки напряжений (токов) которого включает операции возведения обрабатываемого процесса в квадрат с последующим интегрированием по времени или временным усреднением, в данной статье отнесен к типу мультипликативных ПрФ.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ

Рассмотрим тип обнаружителей, формирование отклика которого осуществляется путем перемножения с последующим интегрированием по времени или временным усреднением выходного процесса основного канала обнаружителя с процессом на выходе канала, аналогичного основно-

ISSN 1992-7185

Датчики и Системы

2 • 2016

SENSORS & SYSTEMS

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Датчики и Системы

№ 2 (200)

ФЕВРАЛЬ 2016

УЧРЕДИТЕЛИ

ФГБУ науки
Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН,
НП "Национальная технологическая палата",
ООО "Сенсидат-Плюс" (издатель)

Гл. редактор	**Ф. Ф. Пащенко**
Зам. гл. редактора	**Н. Н. Кузнецова**
Зам. гл. редактора	**А. Ф. Каперко**
Гл. редактор ИКА	**В. Ю. Кнеллер**
Отв. секретарь	**Г. М. Баранова**
Выпускающий редактор	**С. В. Суханова**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р. Р. Бабаян, д. т. н., проф.,
Г. М. Баранова,
С. Н. Васильев, акад. РАН,
Г. И. Джанджгава, д. т. н., проф.,
А. Н. Житков, к. т. н., доц.,
Э. Л. Ицкович, д. т. н., проф.,
С. И. Касаткин, д. т. н., проф.,
А. М. Касимов, д. т. н.,
А. Ф. Каперко, д. т. н., проф.,
В. Ю. Кнеллер, д. т. н., проф.,
Л. Н. Коломиец, к. т. н.,
Н. Н. Кузнецова,
Б. В. Лункин, к. т. н.,
В. П. Морозов, д. т. н.,
Д. А. Новиков, чл.-корр. РАН,
П. П. Пархоменко, чл.-корр. РАН,
Ф. Ф. Пащенко, д. т. н., проф.,
Г. А. Пикина, д. т. н., проф.,
Б. И. Подлепецкий, к. т .н., доц.,
В. В. Поляков,
Н. Л. Прохоров, д. т. н., проф.,
О. С. Сироткин, чл.-корр. РАН,
В. А. Шахнов, чл.-корр. РАН,
М. С. Шкабардня, д. т. н., проф.,
И. Б. Ядыкин, д. т. н., проф.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ РЕДСОВЕТЫ

(руководители)

Санкт-Петербург
В. Г. Кнорринг, д. т. н., проф. — (812) 297-60-01
Нижний Новгород
С. М. Никулин, д. т. н., проф. — (831) 436-78-40
Екатеринбург
С. В. Поршнев, д. т. н., проф. — (343) 375-97-79
Новосибирск
Ю. В. Чугуй, д. т. н., проф. — (383-3) 33-73-60
Красноярск
В. Г. Патюков, д. т. н., проф. — (391-2) 912-279
Бийск
Ю. А. Галенко, д. т. н., проф. — (3854) 43-25-69
Л. С. Звольский, д. т. н., проф. (3854) 30-59-44
Пенза
М. А. Щербаков, д. т. н., проф. — (841-2) 56-37-08
Рязань
С. Н. Кириллов, д. т. н., проф. — (491-2) 92-04-55
Ульяновск
Н. Г. Ярушкина, д. т. н., проф. — (842-2) 43-03-22
Ижевск
В. А. Алексеев, д. т. н., проф. — (341-2) 21-29-33
Оренбург
М. Г. Кучеренко, д. т. н., проф. — (353-2) 77-34-19
Владимир
В. Н. Устюжанинов, д. т. н., проф. — (492-2) 33-59-67
Тула
В. Я. Распопов, д. т. н., проф. — (487-2) 35-19-59
Воронеж
В. К. Битюков, д. т. н., проф. — (473-2) 55-36-94
Курск
В. С. Титов, д. т. н., проф. — (471-2) 58-71-12
Тамбов
С. В. Мищенко, д. т. н., проф. — (475-2) 72-10-19
Астрахань
И. Ю. Петрова, д. т. н., проф. — (851-2) 25-73-11
Минск
И. С. Манак, к. ф.-м. н. — (417) 278-13-13
Уфа
В. Г. Гусев, д. т. н., проф. — (347-2) 23-77-89

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Букин А. Г., Смуров С. В., Сусакин П. А. Анализ защищенности элементов автоматизированной системы управления с применением информационно-лингвистической модели безмасштабной сети 3

Слободян А. Б., Пащенко Ф. Ф. Оценка максимального коэффициента корреляции на основе копулы Бернштейна 10

Дудкин А. В., Власенко Е. А. Влияние алгоритмов работы радиационных портальных мониторов ядерных материалов на надежность их функционирования 19

Боровик С. Ю., Кутейникова М. М., Подлипнов П. Е. и др. Эквивалентные параметры одновиткового вихретокового датчика в измерительной цепи с импульсным питанием 27

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Костюков В. Н., Косых А. В., Науменко А. П. и др. Беспроводная система мониторинга состояния оборудования 36

Ушаков К. А. Обнаружитель сигналов на фоне помех 41

Бондарь О. Г., Брежнева Е. О., Поздняков В. В. Реализация изотермического режима термокаталитических газочувствительных датчиков 43

Акбари С., Баранов А. М., Спирякин Д. Н., Сомов А. С. Автономный беспроводной датчик угарного газа с питанием от альтернативных источников энергии 48

Хитрово А. А. Оптоэлектронный газоструйный преобразователь 54

Литовка Ю. В., Као В. З. Система управления гальванической ванной с дополнительными катодами и биполярными электродами 58

Новые приборы

Дефектоскоп АВГУР-АРТ 62

Диффузионный аэрозольный спектрометр DAS Model 2702 63

Датчик близости ДБ2-12К 64

Автономный радиомодуль WALK-BY 64

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых изданий ВАК и в RSCI на базе Web of Science

Подписные индексы: 79363 в каталоге Роспечати; 40874 в каталоге "Пресса России"

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 117997, ГСП-7, Москва, ул. Профсоюзная, 65, к. 383. Тел./факс: (495) 330-42-66
www.datsys.ru. E-mail: datchik@ipu.ru, datsys@mail.ru

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены ИП Прохоров О. В.
Отпечатано в типографии "Техинпресс". Заказ 17/02. Подписано в печать 15.02.2016.
Журнал перерегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций 26.12.2013.
ПИ № ФС 77-56548

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). На сайте Научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru) доступны полные тексты статей.

© Сенсидат-Плюс, 2016