

УДК 629.78.054:621.396.018

Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-3-425-431

**Для цитирования:** Красненко С. С., Хайдукова В. Н., Недорезов Д. А. Автоматизированная система обнаружения аномалий периодических электрических сигналов // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 3. С. 425–431. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-3-425-431.

**For citation:** Krasnenko S. S., Khaidukova V. N., Nedorezov D. A. Automated system for detecting anomalies of periodic electrical signals. *Siberian Aerospace Journal*. 2021, Vol. 22, No. 3, P. 425–431. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-3-425-431.

## **Автоматизированная система обнаружения аномалий периодических электрических сигналов**

С. С. Красненко<sup>1</sup>, В. Н. Хайдукова<sup>2</sup>, Д. А. Недорезов<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»  
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет  
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79

\*E-mail: Nedorezovd@mail.ru

*Целью работы является разработка автоматизированной системы обнаружения аномалий периодических электрических сигналов с улучшенными характеристиками скорости и эффективности поиска. Для решения поставленной цели проведен анализ проблемы обнаружения аномалий периодических электрических сигналов, измеренных от электронной аппаратуры, и обоснована ее актуальность. Разработана аппаратно-программная система обнаружения аномалий периодических электрических сигналов, которая позволяет автоматизировать процесс испытаний и повысить эффективность обнаружения неисправностей электронной аппаратуры различного назначения. Улучшение означенных характеристик достигнуто за счет нового метода испытаний, лежащего в основе реализации предложенной системы и защищенного патентом Российской Федерации на изобретение, а также за счет качественной реализации программного и аппаратного обеспечения. При решении поставленных задач применены методы алгебры-логики, математической статистики и объектно-ориентированного программирования. Изложены результаты разработки аппаратуры и программного обеспечения, а также алгоритмов испытаний. Описана программа для электронной вычислительной машины, реализующая управление предложенной аппаратно-программной системой.*

*Ключевые слова:* аномалии периодических электрических сигналов, аппаратно-программный комплекс, отработка, испытания, артефакты, электронная аппаратура, автоматизация.

## **Automated system for detecting anomalies of periodic electrical signals**

S. S. Krasnenko<sup>1</sup>, V. N. Khaidukova<sup>2</sup>, D. A. Nedorezov<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>JSC Academician M. F. Reshetnev Information Satellite Systems  
52, Lenin St., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation

<sup>2</sup>Siberian Federal University  
79, Svobodny Pr., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

\*E-mail: Nedorezovd@mail.ru

*The aim of the work is to develop an automated system for detecting anomalies of periodic electrical signals with improved characteristics of the speed and efficiency of search. To solve this goal, the analysis of the problem of detecting anomalies of periodic electrical signals measured from electronic equipment was carried out and its relevance was substantiated. A hardware and software system for detecting anomalies of periodic electrical signals has been developed, which makes it possible to automate the testing process and increase the efficiency of detecting malfunctions of electronic equipment for various purposes. Improvement of the aforementioned characteristics was achieved due to a new test method underlying the implementation of the proposed system and protected by a patent of the Russian Federation for an invention, as well as due to the high-quality implementation of software and hardware. When solving the set tasks, the methods of algebra-logic, mathematical statistics and object-oriented programming were used. The results of the development of hardware and software, as well as test algorithms are presented. A program for an electronic computer that implements control of the proposed hardware-software system is described.*

*Keywords: anomalies of periodic electrical signals, hardware and software complex, debug, testing, artifacts, electronic equipment, automation.*

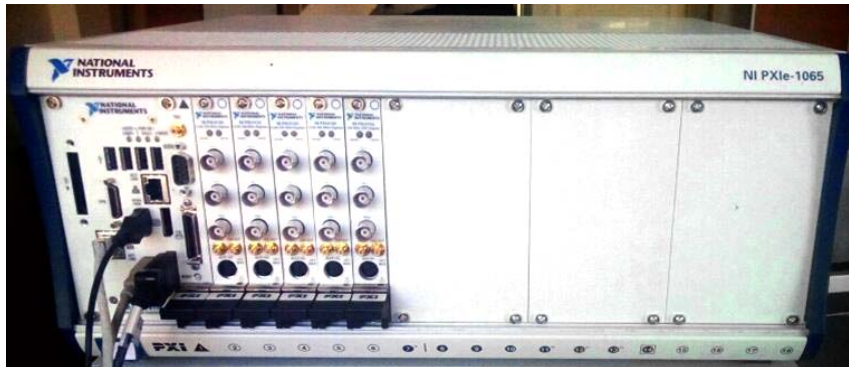
## **Введение**

В настоящее время все более актуальным становится вопрос разработки испытательных систем с улучшенными характеристиками. Это обусловлено увеличившимися требованиями к целевым техническим системам, которые применяются в народном хозяйстве. Например, имеется тенденция на миниатюризацию агрегатов, применяемых в составе военной и гражданской авиационной техники, наземных транспортных средств, водного транспорта и др. При этом функционал, возлагаемый на вышеприведенные системы, увеличивается. Описанные процессы не могут не сказаться на надежности производимой техники, так как любое усложнение системы ставит под угрозу данную характеристику. В данной статье рассматривается частная проблема, определенная общими трендами производства, а именно испытательные аппаратно-программные системы, осуществляющие функцию осциллографирования периодических электрических сигналов, что позволяет повышать уровень надежности технических систем. Осциллограф является одним из основных инструментов контроля и испытаний сложной техники. При помощи осциллографа возможно исследовать форму периодических электрических сигналов и обнаруживать ее аномалии. При этом аномалии периодов могут проявляться редко, что обусловило необходимость ведения длительной записи сигналов, полученных от объектов контроля, на носители информации для их последующего глубокого анализа. Проведение подобных экспериментов актуально для регистрации биопараметров человеческого организма [1; 2], для контроля и обеспечения безопасности функционирования ядерных реакторов [3], при испытаниях электронной аппаратуры [4; 5], например, контроля периодов опорных генераторов частоты, искажения которых могут привести к критическим неисправностям приборов. При длительных измерениях, с записью на носители информации, накапливаются огромные объемы оцифрованных данных, особенно если ведется синхронная запись по множеству каналов. Оператор не в состоянии проанализировать полученные данные в ручном режиме. Представленные аргументы делают весьма актуальной разработку многоканальных аппаратно-программных осциллографических систем с функциями записи и автоматизированного анализа осциллограмм. В ходе проведенного анализа уровня техники определено, что на сегодняшний день на рынке имеется небольшое количество технических решений, отвечающих поставленным требованиям, и их характеристики могут быть улучшены [6–11].

### Аппаратная составляющая предложенной системы

Из имеющихся на сегодняшний день технологий организации аппаратуры испытательных комплексов наиболее подходящей выбрана технология их построения на базе магистрально-модульных систем промышленного применения в стандартах PXI, PXIe и cPCI [12]. Это определило высокую надежность электронной компонентной базы, относительно невысокую стоимость аппаратуры, а самое главное, широкие возможности по конфигурированию осциллографических комплексов, что, безусловно, актуально для создания многоканальных систем [13]. Подобный подход позволяет увеличить количество каналов осциллографической системы до 200 путем установки новых модулей и крейтов, а также разрабатывать сложные аппаратно-программные комплексы, в которые, кроме осциллографов, могут входить устройства различного функционала. Например, устройства цифрового ввода – вывода, различные генераторы и анализаторы, контроллеры промышленных и гражданских интерфейсов и пр. Такой подход позволяет проводить сложные многофункциональные испытания [14]. Также применение вышеприведенных стандартов контрольно-испытательного оборудования позволяет осуществлять качественную синхронизацию каналов осциллографирования между собой, что безусловно актуально для сопоставления данных, полученных по разным каналам в ходе анализа.

Изображение разработанного лабораторного макета осциллографического комплекса обнаружения аномалий периодических электрических сигналов приведено на рисунке.



Лабораторный макет осциллографического комплекса

Laboratory layout of the oscillographic complex

### Программная составляющая предложенной системы

Программное обеспечение системы обнаружения аномалий электрических сигналов состоит из трех основных модулей: модуль осциллографирования, модуль анализа осциллограмм и модуль технологических процессов [15].

Модуль осциллографирования осуществляет следующие функции:

1) конфигурирование параметров отображения и записи электрических сигналов от объектов контроля, таких как количество каналов, входное сопротивление, частота дискретизации, длина выборки, выводимой на дисплей, и пр.;

2) отображение на дисплее сигналов, измеренных от объектов контроля;

3) запись сигналов, измеренных от объектов контроля, на носители информации.

Модуль анализа осциллограмм осуществляет следующие функции:

1) задание графического образца периодов осциллограмм, которые автоматизированная аналитическая система (ААС), входящая в состав системы обнаружения аномалий периодических электрических сигналов, примет в качестве нормального периода, не имеющего аномалий;

2) конфигурирование коэффициентов отклонения от нормы, которые используются ААС в качестве входного параметра поиска аномальных периодов анализируемой осциллограммы, отличающихся от заданного в качестве образца;

3) поиск и обнаружение аномальных периодов анализируемой осциллограммы;

4) создание изображений обнаруженных аномальных периодов;

5) создание текстового файла, содержащего статистические данные, полученные по итогам проведенного анализа: количество проанализированных периодов, количество обнаруженных аномальных периодов, координаты точек обнаруженных аномальных периодов в осциллограмме и пр.

Модуль технологических процессов осуществляет следующие функции:

1) просмотр осциллограмм в ручном режиме;

2) конвертирование данных осциллограммы, например, из числового типа в текст или рисунок.

### **Алгоритм испытаний**

Алгоритм испытаний с использованием предложенной системы обнаружения аномалий периодических электрических сигналов, в общем случае, состоит в следующем: входные каналы осциллографа подключают к участкам электроцепей объектов контроля; переводят объекты контроля в рабочие режимы; проводят измерения непрерывно в течение длительного времени, записывая данные на носители информации; на дисплее СОА воспроизводят осциллограмму в виде статического изображения; оператор эксперимента графически указывает часть осциллограммы, из которой ААС должна автоматически вычислить образец нормального периода осциллограммы, который будет принят в качестве образца, в ходе анализа на предмет наличия в исследуемой осциллограмме аномальных периодов, отличных от вычисленного образца; оператор эксперимента конфигурирует коэффициенты отклонения периодов от нормы, тем самым определяя, на сколько должен отличаться анализируемый период осциллограммы от заданного нормального образца, чтобы ААС классифицировала его как аномальный; ААС автоматически проводит перебор всех периодов анализируемой осциллограммы и классифицирует каждый период по признаку «нормальный/ аномальный»; ААС формирует текстовый файл, содержащий статистические данные по результатам испытаний; ААС создает изображения обнаруженных аномалий и сохраняет их на носители информации [16].

При необходимости, возможна настройка системы для одновременного непрерывного накопления данных на сервере с их автоматическим анализом и поиском аномалий специализированной высокопроизводительной ЭВМ. Сохраненные на сервере оцифрованные данные хранятся в файлах в виде массива. В зависимости от требований к системе осциллографирования и анализа, эти файлы могут содержать оцифрованные данные за определенное (заданное) время. Минимальное время записи данных для одного файла должно быть не меньше полного периода сигнала, максимальное – ограничивается только объемом информационного пространства сервера. Таким образом, при необходимости, возможна настройка системы так, что первые аномалии сигнала можно обнаружить после получения первого файла с оцифрованными данными, т. е. в течение нескольких секунд.

### **Заключение**

Разработанная система обнаружения аномалий периодических электрических сигналов, защищенная патентом РФ на изобретение, позволяет:

- долговременно (до года) записывать электрические сигналы, полученные от объектов контроля, на носители информации, без потерь данных;
- воспроизводить на дисплее и записывать электрические сигналы, полученные от объектов контроля, по множеству (до 200) синхронизированных между собой каналов;
- проводить автоматический анализ больших объемов осциллограмм, полученных от объектов контроля, на предмет наличия в них аномальных периодов.

Алгоритмы обнаружения аномалий, на основе которых разработаны программные модули предложенной аппаратно-программной системы, защищены патентом РФ на изобретение и обладают преимуществами по эффективности обнаружения.

Предложенный метод осциллографирования позволяет повысить вероятность автоматического обнаружения аномалий периодических электрических сигналов, содержащихся в анализируемой осциллограмме, при одновременном сокращении времени, затрачиваемого на прогон. Это улучшает эффективность испытаний.

Лабораторный макет осциллографа и алгоритмы измерения и поиска аномалий успешно опробованы в АО «ИСС» при испытаниях аппаратуры управления трехфазных электромагнитных двигателей системы терморегулирования.

### Библиографические ссылки

1. Нгуен Ч. Т., Юлдашев З. М., Садыкова Е. В. Система удаленного мониторинга сердечного ритма для выявления эпизодов фибрилляции предсердий // Медицинская техника. 2017. № 3(303). С. 28–31.
2. Gant K., Bohorquez J., Thomas C. K. Long-term recording of electromyographic activity from multiple muscles to monitor physical activity of participants with or without a neurological disorder // Biomedizinische Technik. 2019. No. 64(1). P. 81–91.
3. Development of Custom Oscilloscope Based on CSNS Wall Current Monitor Data Acquisition / F. Li, J. Sun, T. Xu et al. // Yuanzineng Kexue Jishu. Atomic Energy Science and Technology. 2019. No. 53(9). P. 1715–1718.
4. Isaeva O., Nozhenkova L. Spacecraft onboard equipment testing automation technology on the basis of simulation model // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No. 537(3). P. 032067.
5. Модули твердотельной памяти для бортовой аппаратуры малых космических аппаратов / О. В. Непомнящий, А. С. Правитель, Н. А. Мамбеталиев и др. // Научные технологии. 2015. Т. 16, № 3. С. 71–76.
6. Сайт компании Tektronix. Система Wave Inspector [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.tek.com/product-features/wave-inspector-navigation-and-automated-search> (дата обращения: 17.05.2021).
7. Сайт компании Teledyne Lecroy. Система Wave Scan [Электронный ресурс]. URL: <https://teledynelecroy.com/doc/wavescan-in-wavesurfer-3000z-oscilloscopes> (дата обращения: 17.05.2021).
8. Сайт компании Teledyne Lecroy. Обзорный каталог. Осциллографы и анализаторы протоколов [Электронный ресурс]. URL: <http://cdn.teledynelecroy.com/files/pdf/labmaster-10zi-a-datasheet.pdf> (дата обращения: 17.05.2021).
9. Сайт компании Teledyne Lecroy. Система Trigger Scan [Электронный ресурс]. URL: <https://teledynelecroy.com/doc/triggerscan-technical-brief> (дата обращения: 17.05.2021).
10. Сайт компании Rohde & Schwarz [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/rtc1000-productstartpage\\_63493-515585.html](https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/rtc1000-productstartpage_63493-515585.html) (дата обращения: 17.05.2021).

11. Сайт компании Tektronix [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tek.com/oscilloscope/tds2000-digital-storage-oscilloscope> (дата обращения: 17.05.2021).
12. Li, Z., Hu, X., Zhang, G. Design and realization of HA hot-swap application for CPCI/PXI system // Proceedings of the 2014 9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2014 6931478. 2014. P. 1898–1902.
13. Li D., Hu X. Hot-swap and redundancy technology for CPCI measurement and control systems // Proceedings of the 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2016 7603795. 2016. P. 1355–1358.
14. Пичкалев А. В. Аппаратура долговременного прогона для отработки узлов бортовой аппаратуры // Решетневские чтения : материалы XVIII Международной научной конференции, г. Красноярск. 2014. С. 240–241.
15. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2017663519. Многоканальный самописец / Д. А Недорезов, регистр. 07.12.2017.
16. Пат. 2684203 Российская Федерация, МПК G06K 11/00. Способ интеллектуального анализа осциллограмм / Д. А Недорезов. № 2017140553 ; заявл. 21.11.2017 ; опубл. от 04.04.2019.

## References

1. Nguen Sh. T., Uldashev Z. M., Sadukova E. V. [Remote heart rate monitoring system for detecting episodes of atrial fibrillation]. *Medicinskaia tehnika*. 2017, No. 3(303), P. 28–31 (In Russ.).
2. Gant K., Bohorquez J., Thomas C. K. Long-term recording of electromyographic activity from multiple muscles to monitor physical activity of participants with or without a neurological disorder. *Biomedizinische Technik*. 2019, No. 64(1), P. 81–91.
3. Li F., Sun J., Xu T. et. al. Development of Custom Oscilloscope Based on CSNS Wall Current Monitor Data Acquisition. Yuanzineng Kexue Jishu. *Atomic Energy Science and Technology*. 2019, No. 53(9), P. 1715–1718.
4. Isaeva O., Nozhenkova L. Spacecraft onboard equipment testing automation technology on the basis of simulation model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, No. 537(3), P. 032067.
5. Nepomnyashchii O. V., Pravitel A. S., Mambetaliev N. A. et. al. [Solid-state memory modules for onboard equipment of small spacecraft]. *Naykoemkie tehnologii*. 2015, Vol. 16, No 3, P. 71–76 (In Russ.).
6. Tektronix [System Wave Inspector]. Available at: <https://ru.tek.com/product-features/wave-inspector-navigation-and-automated-search> (accessed: 17.05.2021).
7. Teledyne Lecroy [System Wave Scan]. Available at: <https://teledynelecroy.com/doc/wavescan-in-wavesurfer-3000z-oscilloscopes> (accessed 17.05.2021).
8. Teledyne Lecroy [Oscilloscopes & Protocol Analyzers]. Available at: <http://cdn.teledynelecroy.com/files/pdf/labmaster-10zi-a-datasheet.pdf> (accessed: 17.05.2021).
9. Teledyne Lecroy [System Trigger Scan]. Available at: <https://teledynelecroy.com/doc/triggerscan-technical-brief> (accessed 17.05.2021).
10. Rohde & Schwarz [Oscilloscopes]. Available at: [https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/rtc1000-productstartpage\\_63493-515585.html](https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/rtc1000-productstartpage_63493-515585.html) (accessed: 17.05.2021).
11. Tektronix [Oscilloscopes]. Available at: <https://www.tek.com/oscilloscope/tds2000-digital-storage-oscilloscope> (accessed: 17.05.2021).
12. Li Z., Hu X., Zhang G. Design and realization of HA hot-swap application for CPCI/PXI system. Proceedings of the 2014 9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2014 6931478, 2014, P. 1898–1902.

13. Li D., Hu X. Hot-swap and redundancy technology for CPCI measurement and control systems. Proceedings of the 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2016 7603795, 2016, P. 1355–1358.

14. Pichkalev A. V. [The equipment of long-term run for onboard equipment knot debugging]. *Materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Reshetnevskie chteniya*. [Reshetnev Readings: Materials of the XVIII International Scientific Conference]. Krasnoyarsk, 2014. P. 240–241 (In Russ).

15. Nedorezov D. A. *Mnogokanalnii samopisec* [Multichannel recorder]. Computer programs, No. 2017663519, 07.12.2017.

16. Nedorezov D. A. Sposob intellektualnogo analiza oscilogram [Waveform Intelligent Analysis Method]. Patent RF, No. 2017140553.

© Красненко С. С., Хайдукова В. Н., Недорезов Д. А., 2021

---

**Красненко Сергей Сергеевич** – инженер-конструктор 2 категории; Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». E-mail: t\_150@list.ru.

**Хайдукова Валерия Николаевна** – магистрант; Сибирский федеральный университет. E-mail: Valeriya\_iks@mail.ru.

**Недорезов Дмитрий Александрович** – магистрант; Сибирский федеральный университет. E-mail: Nedorezovd@mail.ru.

**Krasnenko Sergey Sergeevich** – the design engineer 2 categories, JSC Academician M. F. Reshetnev Information Satellite Systems. E-mail: t\_150@list.ru.

**Khaidukova Valeria Nikolaevna** – Master student; Siberian Federal University. E-mail: Valeriya\_iks@mail.ru.

**Nedorezov Dmitrii Aleksandrovich** – Master student; Siberian Federal University. E-mail: Nedorezovd@mail.ru.

---