

УДК 519.68

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ*****А.В. Машков, А.В. Желонкин***Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Аннотация. *Рассматривается задача разработки программного комплекса для проведения статистического анализа измерительной информации. В процессе создания программного комплекса учитывалась вся совокупность требований, предъявляемых как в целом к информационным системам статистического анализа, так и к программным модулям, выполняющим функции сбора, передачи, обработки, хранения и представления измерительной информации. Система апробирована при проведении экспериментальных исследований низкочастотных вибраций автобуса МАЗ-206067 для оценки степени комфорта водителя и пассажиров. Полученные результаты позволили получить пространственный виброакустический портрет автобуса, многократно превосходящий по объему и детализации данные завода-изготовителя.*

Ключевые слова: *многокомпонентный процесс, аналого-стохастическое квантование, знаковый сигнал, программный комплекс, информационная система статистического анализа, модульный подход.*

Диагностика технического состояния объектов требует обработки измерительной информации. При этом особое внимание уделяется созданию информационных систем статистического анализа (ИССА) измерительной информации, в которых часть измерительных операций, связанных с обработкой данных наблюдаемых сигналов, выполняется программным способом. Для реализации широких функциональных возможностей и удовлетворения требованиям, предъявляемым к подобного рода системам, разработан модульный программный комплекс. При разработке модулей были учтены требования, обусловленные необходимостью оценки влияния программного комплекса на метрологические характеристики ИССА и защиты обрабатываемой, в том числе измерительной, информации от непреднамеренных и преднамеренных изменений.

Для осуществления оперативного комплексного статистического анализа разработаны цифровые методы статистических измерений и соответствующие им быстродействующие алгоритмы [1, 2, 3], которые легли в основу программного обеспечения. Эти методы обеспечивают проведение спектрального анализа, вычисление оценок спектральной плотности мощности, моментов корреляционной функции и гармонического анализа на основе бинарного знакового аналого-стохастического квантования [4, 5].

Последовательное прохождение всех стадий и этапов создания ИССА обеспечило выполнение требований, предъявляемых к программному обеспечению (ПО), функционирующему с использованием средств измерений и компонентов

Андрей Валерьевич Машков, старший преподаватель кафедры «Информационные технологии».

Александр Викторович Желонкин, студент.

измерительных систем, что, в свою очередь, позволяет говорить о разработанном ПО как о метрологически значимом программном обеспечении (МЗПО). В соответствии с [6, 7] необходимо выделять метрологически значимые и незначимые части в МЗПО. Это предоставляет возможность достижения удобства модификации метрологически незначимых частей ИССА (например, пользовательский интерфейс, подпрограммы, библиотеки, процедуры взаимодействия с операционной средой и периферийными устройствами персонального компьютера) без нарушения его соответствия утвержденному ПО и защиты от случайных или непреднамеренных изменений данных, получаемых из метрологически значимых частей ПО [8–15].

Помимо эффективности, особое внимание было уделено качественной организации структуры ПО, логичности и доступности пользовательского интерфейса, а также возможности расширения системы для наращивания дополнительного функционала по мере необходимости. Эти характеристики в той или иной степени определили архитектуру разработанного программного комплекса, представляющую собой многоуровневую организацию системы, в которой каждый уровень выполняет определенную функцию. Для достижения баланса между функциональностью и сложностью структуры ПО были выделены уровни представления и обработки данных. Уровень представления соответствует метрологически незначимой части ПО и отвечает за графическое представление данных и интерфейс взаимодействия с пользователем. А уровень обработки данных соответствует метрологически значимой части ПО и содержит модули реализации алгоритмов. В свою очередь, каждый из этих уровней реализован на разных языках программирования: уровень представления реализован на сильно типизированном объектно-ориентированном языке программирования Java, а уровень обработки – на статически типизированном языке программирования общего назначения C++.

При разработке программного комплекса ИССА была выбрана модульная парадигма организации структуры ПО, которая позволила обеспечить выполнение таких критериев, как гибкость и расширяемость системы, масштабируемость процесса разработки, заменяемость программных компонентов и возможность их повторного использования [16]. Структура программного комплекса ИССА состоит из следующих основных модулей: модуль визуализации измерительных данных (ИД), модуль реализации алгоритмов спектрального анализа (СА) и конвертор обработки данных между пользовательским интерфейсом и модулем реализации алгоритмов. На рис. 1 представлена модель многоуровневой структуры программного комплекса ИССА.

ПК ИССА позволяет работать в двух режимах путем выбора типа источника данных:

1) режим «Загрузка реального сигнала», который позволяет загрузить реальный сигнал из текстового файла или электронной таблицы формата `xlsx`;

2) режим «Модель реализации случайного процесса», который формирует тестовый сигнал для имитации работы ПК с целью исследования возможностей разработанного алгоритма на основе моделирования многокомпонентного случайного процесса и процедуры бинарного знакового аналого-стохастического квантования.

Режим имитационного моделирования позволяет оценить эффективность работы ПК ИССА для анализа определенного класса процессов.

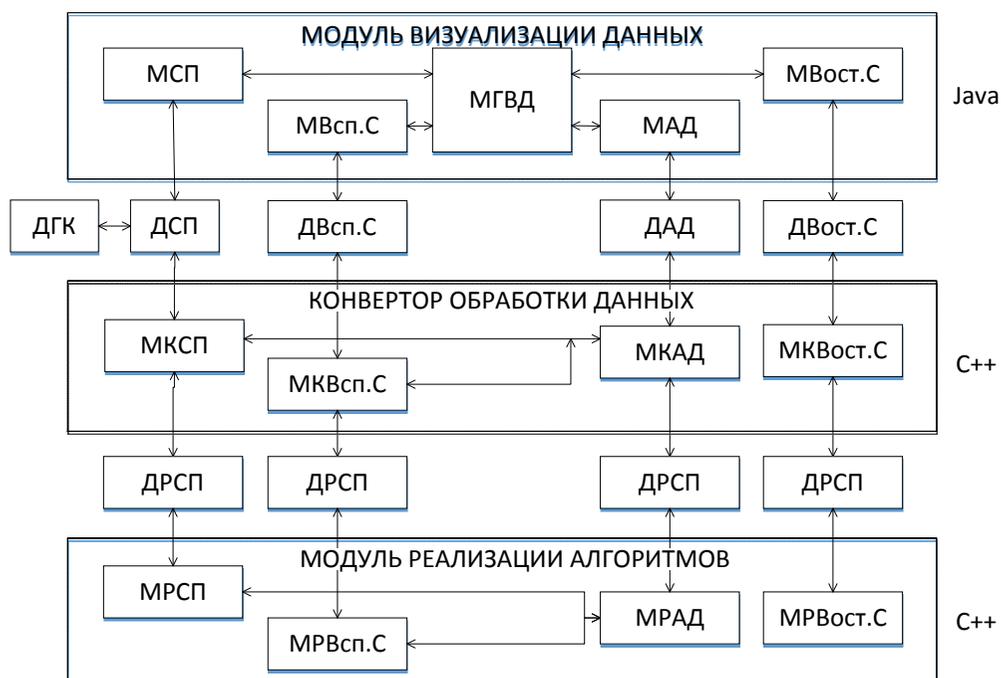


Рис. 1. Модель многоуровневой структуры программного комплекса ИССА

В основе пользовательского интерфейса лежит модуль графической визуализации данных (МГВД), позволяющий отображать полученные результаты обработки сигналов в виде графиков. Данными графической визуализации данных (ДГК) являются следующие переменные:

- тип гармонической компоненты;
- амплитуда;
- частота;
- период;
- фаза.

Модуль многокомпонентного случайного процесса (МКСП) позволяет организовать набор гармонических составляющих для последующей визуализации их сумм или использования в имитации частотного анализа. В качестве данных многокомпонентного случайного процесса (ДСП) выступают следующие переменные:

- нижний предел построения графика;
- верхний предел построения графика;
- шаг построения графика;
- набор гармонических компонент;
- использование постоянной составляющей;
- использование гармонических составляющих;
- значение постоянной составляющей;
- использование шума;
- тип распределения;
- среднее значение распределения;
- отклонение распределения.

Модуль вспомогательного сигнала (МВсп.С) дает пользователю возможность составить список вспомогательных сигналов, которые используются при

выполнении бинарного знакового аналого-стохастического квантования в процессе реализации алгоритмов [17]. В качестве данных вспомогательного сигнала (ДВсп.С) выступают следующие переменные:

- тип сигнала;
- набор гармонических компонент.

Модуль анализа данных (МАД) представляет инструмент частотного анализа полигармонических сигналов в аддитивном шуме на основе бинарного знакового квантования. В качестве данных МАД (ДАД) выступают следующие переменные:

- постоянная составляющая;
- набор гармонических компонент;
- среднее значение распределения;
- отклонение распределения;
- тип алгоритма анализа;
- тип вспомогательного сигнала;
- амплитуда вспомогательного сигнала;
- период вспомогательного сигнала;
- фаза вспомогательного сигнала;
- время проводимого анализа;
- интервал опроса проводимого анализа;
- нижний предел частоты;
- верхний предел частоты;
- максимальная частота;
- количество возвращаемых знакопереключений.

Модуль восстановления сигнала (МВост.С) позволяет восстановить гармонические составляющие сигнала после проведения частотного анализа.

Модули многокомпонентного случайного процесса, вспомогательного сигнала, анализа данных и восстановления сигнала связаны со своей реализацией через блок модулей конвертирования данных между языками программирования Java и C++, реализованный на C++. Использование связующего модуля позволяет заменить его при необходимости в дальнейшем для использования под другим графическим интерфейсом или без него.

Как было сказано выше, необходимость реализации модулей визуализации данных и алгоритмов на разных языках программирования вызвана разделением МЗПО на метрологически значимые и незначимые части. Язык Java позволяет создавать модульные программы, исходный код которых может использоваться повторно, имея в своем арсенале разнообразные компоненты отображения данных и пользовательского интерфейса. Метрологически значимые части реализованы в модулях МЗПО, которые выполняют функции обработки, хранения и передачи данных и результатов СА на языке C++, позволившем применить подход многопоточного программирования для повышения производительности обработки данных.

Программное обеспечение приложения, реализующего алгоритмы вычисления спектральных оценок, реализованы на языке C++ в среде разработки Visual Studio 2017 с использованием библиотеки xlnet для чтения электронных таблиц формата xlsx, а также механизма Java Native Interface (JNI) для запуска кода под управлением виртуальной машины Java (JVM), который написан на языке C++. Для большей гибкости код, реализующий алгоритмы, разделен на две части:

Core – модуль с реализацией алгоритмов и JavaBridge – модуль преобразования java-объектов в стандартные типы данных языка C++.

Наличие различных функциональных компонентов ПО обусловило разграничение интерфейса МЗПО на интерфейс пользователя и программный интерфейс (ПИ). При проектировании пользовательского интерфейса особое внимание уделено вопросам пространственной распределенности информации – это своего рода качественный признак, определяющий, насколько грамотно спроектированы структура ПО и дружественный пользователю интерфейс. В свою очередь, правильно логически организованная информация обеспечивает удобную и единообразную навигацию как в пределах одного окна, так и в целом по множеству окон и вкладок.

Пользовательский интерфейс системы реализован на языке Java в среде разработки IntelliJ IDEA 2017.1.4 на основе технологии JavaFX. Для удобства все элементы представления вынесены в fxml-разметку, а обработка событий – в контроллеры. Элементы пользовательского интерфейса и схема алгоритма работы программного комплекса ИССА представлены на рис. 2.

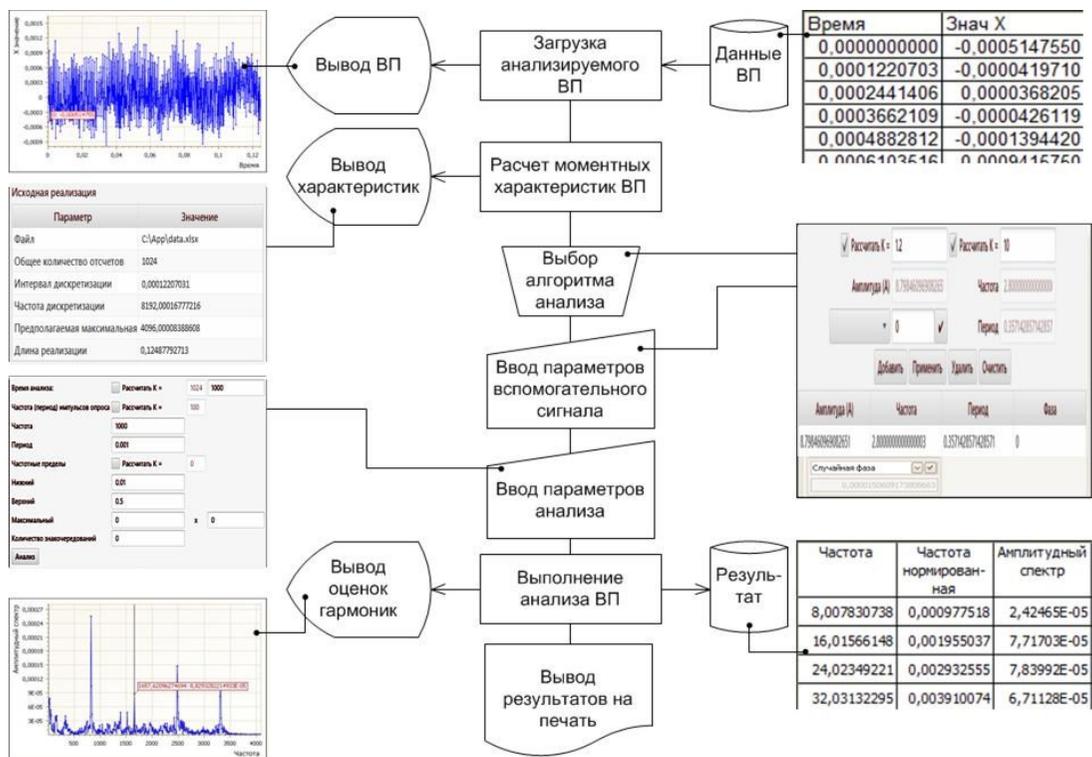


Рис. 2. Пользовательский интерфейс. Схема алгоритма работы программного комплекса ИССА

На начальном этапе работы производится загрузка компонентов анализируемого многокомпонентного случайного сигнала в приложение с возможностью его визуального отображения в виде настраиваемого графика. Далее происходит автоматический пересчет моментных характеристик сигнала с последующим выводом в виде таблицы.

Для проведения анализа многокомпонентного случайного сигнала необходимо выбрать алгоритм анализа, ввести параметры вспомогательного сигнала или использовать автоматически подсчитанные значения. Далее производится ввод параметров производимого анализа, таких как время анализа, интервал опроса, частотные пределы – верхняя граница частоты в спектре и т. д. Затем проходит непосредственно сам анализ многокомпонентного случайного сигнала по выбранному алгоритму. По результатам анализа появляется возможность представить в виде графика такие данные, как амплитудный спектр, амплитудный спектр в децибелах, фазовый спектр и их нормированные величины.

На форме «Сигнал» осуществляются формирование пользователем модели сигнала и инициализация процедуры первичного формирования и накопления массивов цифровых данных наблюдения вибрационных процессов с использованием бинарного знакового аналого-стохастического квантования. Активация позиции «Гармоническая составляющая» позволяет включить/отключить расчет добавленных ниже гармонических компонентов. Кнопки «Добавить», «Применить», «Удалить» и «Очистить», соответственно, добавляют заполненный сигнал в таблицу к вычислениям, применяют введенные данные к выделенному компоненту, удаляют выбранный компонент и очищают таблицу. Активация позиции «Шум» позволяет включить/отключить наличие шума в сигнале. Ниже заполняются среднее значение, дисперсия или среднее квадратичное отклонение, которые между собой пересчитываются, и отклонение. Внизу вкладки задаются границы расчета и шаг аргумента.

С правой стороны расположен модуль отображения графика. Есть возможность выбирать область подробного просмотра с помощью двойного ползунка, выбирать таблицу рассчитанных данных, просматривать вычисленные значения.

На форме «Вспомогательные сигналы» устанавливаются параметры вспомогательных случайных сигналов. Они имеют равномерное распределение в пределах изменения контролируемых процессов и играют роль стохастического порога квантования.

Форма «Анализ», на которой есть возможность задать параметры для выполнения спектрального оценивания, используется для вычисления спектральных оценок в реальном масштабе времени. На этой же форме расположен модуль визуального отображения графической информации. При этом имеется возможность выбора частотного диапазона для детального просмотра спектральных оценок с помощью двойного ползунка. Также выводится таблица численных значений результатов вычислений [18–20].

В реальных условиях работы программный комплекс ИССА был апробирован при проведении экспериментальных исследований низкочастотных вибраций автобуса МАЗ-206067, предназначенного для перевозки пассажиров на городских и пригородных маршрутах средней загруженности [21–24]. Спектральный анализ вибрации проводился в целях оценки степени комфорта водителя и пассажиров и позволил получить пространственный виброакустический портрет автобуса, многократно превосходящий по объему и детализации данные завода-изготовителя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Якимов В.Н. Цифровой комплексный статистический анализ на основе знакового представления случайных процессов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 18. – № (7). – С. 1346–1353. 30 ист. ISSN печатной версии 1990-5378.
2. Якимов В.Н. Цифровой гармонический анализ многокомпонентных случайных процессов // Измерительная техника. – 2006. – № 4. – С. 22–26.

3. *Yakimov V.N.* Digital harmonic analysis of multicomponent random processes // Measurement Techniques, Publisher: Springer New York, Vol. 49, № 4, pp. 341–347.
4. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
5. Мирский Г.Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
6. ГОСТ 8.654-2015. Требования к программному обеспечению средств измерения. – Введ. 2015-04-28. – М.: Стандартинформ, 2015. – 8 с.
7. ГОСТ 8.596-2002. Метрологическое обеспечение измерительных систем. – Введ. 2003-03-01. – М.: Стандартинформ, 2003. – 10 с.
8. *Якимов В.Н., Машков А.В.* Программное обеспечение для оперативного спектрального анализа на основе модифицированного коррелограммного метода // Материалы III Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике». 25 мая 2016 г. – Азов: АзовПечать, 2016. – № 1. – С. 157–161.
9. *Якимов В.Н., Машков А.В.* Программное обеспечение измерительной системы для оперативного вычисления оценок спектральной плотности мощности // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVII Международной научно-технической конференции. 19 мая 2016 г. – Барнаул: Изд-во АлГТУ, 2016. – С. 151–155.
10. *Якимов В.Н.* Цифровое оценивание спектральной плотности мощности на основе знакового стохастического квантования непрерывных процессов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2001. №12. – С. 60–64.
11. *Якимов В.Н., Горбачев О.В.* Программно-аппаратное обеспечение системы оценки амплитудного спектра многокомпонентных процессов // Приборы и техника эксперимента. – 2013. – № 5. – С. 49–55
12. *Якимов В.Н., Батищев В.И., Машков А.В.* Модульный подход к разработке информационно-измерительной системы цифрового оценивания спектральной плотности мощности // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: сб. науч. ст. Междунар. науч.-техн. конф. «Шляндинские чтения – 2016». 25–27 октября 2016 г. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2016. – С. 84–86.
13. *Якимов В.Н., Машков А.В.* АИС диагностики газоперерабатывающих агрегатов на основе знаковых методов обработки результатов наблюдений с разграничением прав доступа к базе данных // Актуальные проблемы информационной безопасности. Теория и практика использования программно-аппаратных средств: материалы X Всероссийской научно-технической конференции. – Самарский гос. техн. универ.; Самара, 24–26 мая 2017 г. – С. 15–18.
14. *Машков А.В.* Автоматизированная информационно-измерительная система технической диагностики параметров газоперекачивающего агрегата // Актуальные проблемы науки и образования в современном вузе: Материалы III Междунар. науч.-практ. конф., 7–10 июня 2017 г. – Стерлитамак: Стерлитамакский филиал БашГУ, 2017. – Ч. 1. – С. 131–137.
15. *V.N.Yakimov, O.V.Gorbachev,* Firmware of the amplitude spectrum evaluating system for multicomponent processes // Instruments and Experimental Techniques, Publisher: Springer US, New York, Vol. 56, No. 5, pp. 540–54
16. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания. – Введ. 1992-01-01. – М.: Стандартинформ, 1992. – 5 с.
17. *Якимов В.Н., Горбачев О.В.* Программное обеспечение системы измерения амплитудных спектров колебательных процессов // Программные продукты и системы. – 2013. – № 2. – С. 166–171.
18. *Якимов В.Н., Горбачев О.В.* Программно-аппаратное обеспечение системы оценки амплитудного спектра многокомпонентных процессов // Приборы и техника эксперимента. – 2013. – № 5. – С. 49–55. DOI: 10.7868/S0032816213040289.
19. *Yakimov V.N., Gorbachev O.V.* Firmware of the amplitude spectrum evaluating system for multicomponent processes, Instruments and Experimental Techniques, Publisher: Springer US, New York, Vol. 56, No. 5, pp. 540–545, September 2013.
20. *Якимов В.Н., Горбачев О.В.* Измерительная система спектрального анализа вибрационных процессов // Газовая промышленность. – 2013. – № 2. – С. 34–37.
21. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. I. Общие требования.
22. ГОСТ 55855-2013. Автомобильные транспортные средства. Методы измерения и оценки общей вибрации.
23. ГОСТ ИСО 10326-1-2002. Вибрация. Оценка вибрации сидений транспортных средств по результатам лабораторных испытаний. Ч. 1. Общие требования.

SOFTWARE OF INFORMATION-MEASUREMENT SYSTEM FOR OPERATIVE SPECTRAL ANALYSIS

A.V. Mashkov, A.V. Zhelonkin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Abstract. *In paper the problem of software development of the information and measuring system for the operative spectral analysis is considered. While developing the software of the information and measuring system, a modular paradigm for organizing the software structure was chosen, which allowed ensuring the fulfillment of such criteria as flexibility and extensibility of the system, scalability of the development process, replaceability of software components and the possibility of their reuse. The separation of the levels of representation and processing of data in the structure of metrologically significant software allowed separating metrologically significant and insignificant parts and ensuring the protection of measurement information from unintentional and deliberate changes. The system was tested during the pilot studies of low-frequency vibrations of the MAZ-206067 bus for assessing the degree of comfort of the driver and passengers. The obtained results made it possible to obtain a spatial vibro-acoustic portrait of the bus, many times greater than the volume and detail of the manufacturer's data.*

Keywords: *multicomponent process, analog-stochastic quantization, a sign-function signal, operative spectral analysis, software, information-measuring system, multi-level architecture.*

REFERENCES

1. *Yakimov V.N.* Cifrovoy kompleksnyj statisticheskij analiz na osnove znakovogo predstavleniya sluchajnyh processov // *Izvestiya samarskogo nauchnogo centra RAN.* – 2016. – T. 18. № 4(7). – S. 1346–1353. 30 ist. ISSN печатной версии 1990–5378.
2. *Yakimov V.N.* Cifrovoy garmonicheskij analiz mnogokomponentnyh sluchajnyh processov // *Izmeritel'naya tekhnika.* – 2006. – № 4. – S. 22–26.
3. *Yakimov V.N.* Digital harmonic analysis of multicomponent random processes // *Measurement Techniques, Publisher: Springer New York, Vol. 49, № 4, pp. 341–347.*
4. *Marpl-mI. S.L.* Cifrovoy spektral'nyj analiz i ego prilozheniya: Per s angl. – M.: Mir, 1990. – 584 s.
5. *Mirskij G.Ya.* Harakteristiki stohasticheskoy vzaimosvyazi i ih izmereniya. – M.: Energoiz-dat, 1982. – 320 s.
6. GOST 8.654-2015. Trebovaniya k programmnomu obespecheniyu sredstv izmereniya. – Vved. 2015-04-28. – M.: Standartinform, 2015. – 8 s.
7. GOST 8.596-2002. Metrologicheskoe obespechenie izmeritel'nyh sistem. – Vved. 2003-03-01. – M.: Standartinform, 2003. – 10 s.
8. *Yakimov V.N., Mashkov A.V.* Programmnoe obespechenie dlya operativnogo spektral'nogo analiza na osnove modifitsirovannogo korrelogrammnogo metoda // *Materialy` III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennyye tendencii razvitiya i perspektivy` vnedreniya innovacionnyx texnologij v mashinostroenii, obrazovanii i e'kono-mike».* 25 maya 2016 g. – Azov: AzovPechat', 2016. – № 1. – S. 157–161.
9. *Yakimov V.N., Mashkov A.V.* Programmnoe obespechenie izmeritel'noj sistemy` dlya operativnogo

Andrey V. Mashkov, Senior Lecture.
Alehander V. Zhelonkin, Student.

- vy`chisleniya ocenok spektral'noj plotnosti moshchnosti // *Izmerenie, kontrol', infor-matizaciya: materialy` XVII mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii*. 19 maya 2016 g. – Barnaul: Izd-vo AIGTU, 2016. – S. 151–155.
10. *Yakimov V.N.* Cifrovoe ocenivanie spektral'noj plotnosti moshchnosti na osnove znakovogo stohasticheskogo kvantovaniya nepreryvnyh processov // *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika*. – 2013. – № 5. – Pp. 49-55.
 11. V.N.Yakimov, O.V.Gorbachev Programmno-apparatnoe obespechenie sistemy ocenki amplitudnogo spektra mnogokomponentnyh processov // *Pribory i tekhnika eksperimenta* – 2013. – № 5. – Pp. 49-55
 12. *Yakimov V.N., Batishev V.I., Mashkov A.V.* Modul'ny`j podxod k razrabotke informacionno-izmeritel'noj sistemy` cifrovogo ocenivaniya spektral'noj plotnosti moshchnosti // *Metody`, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noj informacii: sb. nauch. st. Mezhdunar. nauch.-texn. konf. «Shlyandinskie chteniya – 2016»*. 25–27 oktyabrya 2016g. – Pen-za: Izd-vo PGU, 2016. – S. 84–86.
 13. *Yakimov V.N., Mashkov A.V.* AIS diagnostiki gazopererabaty`vayushhix agregatov na osnove znakovy`x metodov obrabotki rezul'tatov nablyudenij s razgranicheniem prav dostupa k baze danny`x // *Aktual'ny`e problemy` informacionnoj bezopasnosti. Teoriya i praktika ispol'zo-vaniya programmno-apparatny`x sredstv: materialy` X Vserossijskoj nauchno-texnicheskoj konferencii*. – Samarskij gos. tex. univer.; Samara. 24–26 maya 2017 g. – S. 15–18.
 14. *Mashkov A.V.* Avtomatizirovannaya informacionno-izmeritel'naya sistema texnicheskoj diagnostiki parametrov gazoperekachivayushhego agregata // *Aktual'ny`e problemy` nauki i obrazovaniya v sovremennom vuze: Materialy` III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 7–10 iyunya 2017 g.* – Sterlitamak: Sterlitamakskij filial BashGU, 2017. – Ch. 1. – S. 131–137.
 15. V.N.Yakimov, O.V.Gorbachev, Firmware of the amplitude spectrum evaluating system for multi-component processes // *Instruments and Experimental Techniques*, Publisher: Springer US, New York, Vol. 56, No. 5, pp. 540-54.
 16. GOST 34.601-90. Avtomatizirovannye sistemy. Stadii sozdaniya. – Vved. 1992-01-01. – M.: Standartinform, 1992. – 5 s.
 17. *Yakimov V.N., Gorbachev O.V.* Programmnoe obespechenie sistemy izmereniya amplitudnyh spektrov kolebatel'nyh processov // *Programmnye produkty i sistemy*. – 2013. – № 2. – S. 166–171.
 18. *Yakimov V.N., Gorbachev O.V.* Programmno-apparatnoe obespechenie sistemy ocenki amplitudnogo spektra mnogokomponentnyh processov // *Pribory i tekhnika eksperimenta*. 2013. № 5. S. 49–55. DOI: 10.7868/S0032816213040289.
 19. *Yakimov V.N., Gorbachev O.V.* Firmware of the amplitude spectrum evaluating system for multi-component processes, *Instruments and Experimental Techniques*, Publisher: Springer US, New York, Vol. 56, No. 5, pp. 540–545, September 2013.
 20. *Yakimov V.N., Gorbachev O.V.* Izmeritel'naya sistema spektral'nogo analiza vibracionnyh processov // *Gazovaya promyshlennost'*. – 2013. – № 2. – S. 34–37.
 21. GOST 31191.1-2004 (ISO 2631-1:1997). Vibraciya i udar. Izmerenie obshchej vibracii i ocenka ee vozdejstviya na cheloveka. Chast' I. Obshchie trebovaniya.
 22. GOST 55855-2013. Avtomobil'nye transportnye sredstva. Metody izmereniya i ocenki obshchej vibracii.
 23. GOST ISO 10326-1-2002. Vibraciya. Ocenka vibracii sidenij transportnyh sredstv po re-zul'tatam laboratornyh ispytanij. Chast' 1. Obshchie trebovaniya.
 24. GOST ISO 8002-99. Vibraciya. Vibraciya nazemnogo transporta. Predstavlenie rezul'ta-tov izmerenij.