

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 004.383 : 621.3.089

НОСКО  
Денис Витальевич

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА  
ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.13.01 – Системный анализ,  
управление и обработка информации

Минск 2009

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель Бранцевич Петр Юльянович, кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: Петровский Александр Александрович, доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электронных вычислительных средств учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Чудовский Валерий Анатольевич, кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры информатики факультета радиопизики и электроники Белорусского государственного университета

Опонирующая организация Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится 17 сентября 2009 г. в 16:00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.01 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, e-mail: [dissovet@bsuir.by](mailto:dissovet@bsuir.by), тел. (017)293-89-89.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных путей повышения эффективности производства, снижения себестоимости и улучшения качества продукции является обеспечение высокой надежности работы производственного оборудования. В этих условиях особую важность приобретает возможность контроля его работоспособности с целью предотвращения внезапных отказов и заблаговременного вывода в ремонт агрегатов, находящихся в предаварийном состоянии.

В процессе развития методов технического обслуживания в 90-е гг. начался интенсивный переход к техническому обслуживанию по фактическому состоянию. Это позволило достигнуть оптимального уровня надежности и готовности оборудования. Исследования НИИ электроэнергетики США показали, что переход от метода аварийного обслуживания (от поломки до поломки) к методу технического обслуживания по фактическому состоянию позволяет снизить затраты на 47 %. Однако переход к этому виду обслуживания возможен только при оснащении предприятий эффективными контрольно-диагностическими средствами.

Современная компьютерная система вибрационного контроля (КСВК) представляет собой комплекс средств автоматизации с участием человека и обеспечивает определение параметров технического состояния (ТС) контролируемого объекта в режиме реального времени. Функциональные возможности таких систем в значительной мере определяются возможностями математического и программного обеспечения (ПО). При этом на современном этапе разработка программных средств более трудоемкая и дорогостоящая, чем разработка аппаратных. Применяются два основных подхода к реализации компьютерных систем, функционирующих в режиме реального времени. Первый подход подразумевает использование аппаратных средств специального назначения, которые обеспечивают работу в режиме реального времени (РВ). Второй подход базируется на применении электронно-вычислительной машины (ЭВМ) общего назначения с операционной системой (ОС) реального времени.

К сожалению, КСВК и системы принятия решения по оценке состояния технических объектов на основе анализа экспериментальных данных на отечественных предприятиях не получили широкого распространения, что объясняется комплексом технических, финансовых и организационных причин. В то же время на предприятиях энергетики, машиностроения, нефтехимии эксплуатируется большое количество механизмов и агрегатов с вращательным движением, которые необходимо контролировать и обслуживать с точки зрения вибрационного состояния.

На основании вышеизложенного можно выделить актуальную проблему расширения сферы применения КСВК путем разработки специального математического и программного обеспечения для решения задач вибрационного контроля и обработки виброметрических данных для систем поддержки принятия решений (СППР) по оценке состояния технических объектов. При этом создание ПО КСВК не должно требовать высококвалифицированных специалистов, использования сложных систем разработки и значительных первоначаль-

ных инвестиций, что является важным для организаций Республики Беларусь и стран ближнего зарубежья.

Диссертационная работа посвящена разработке алгоритмов и ПО для систем, позволяющих решать задачи вибрационного контроля и СПИР по оценке ТС на персональных компьютерах общего назначения, в том числе и в режиме реального времени, на базе универсальной многозадачной ОС семейства Windows. Возможность применения компьютеров общего назначения для создания компьютерных систем вибрационного контроля и поддержки принятия решений позволит создать гибкие, универсальные, недорогие системы, доступные для использования широким кругом специалистов.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами**

Исследования, положенные автором в основу диссертационной работы, а также выполняемые им в ходе работы, нашли отражение в следующих НИР:

1. «Проведение исследований по созданию вибродиагностической системы определения качества изготовления и сборки узлов автомобилей БелАЗ» (х/д № 04-1079, № ГР 2005395, научный руководитель НИР – П. Ю. Бранцевич).

2. ГНТП «Энергетика – 2005» по теме «Разработать и изготовить базовые компоненты технических средств контроля и диагностики линейных перемещений и деформаций элементов конструкций турбоагрегатов и вспомогательного оборудования ТЭС» (х/д № 24/04-1029, № ГР 2005483, научный руководитель НИР – П. Ю. Бранцевич).

3. «Разработать методы, алгоритмы и программные модули для исследования характеристик, оценки технического состояния и диагностирования сложных систем» (ГБ № 01-2004, № ГР 2004305, научный руководитель НИР – В. Н. Ярмолик).

4. «Разработать модели, методы, алгоритмы для оценки качества и состояния, обеспечения отказоустойчивости, защищенности и диагностируемости аппаратно-программных средств сложных систем и внедрения в современные обучающие комплексы» (ГБ № 06-2004, № ГР 2004796, научный руководитель НИР – В. В. Бахтизин).

5. ГНТП «Защита от чрезвычайных ситуаций» по теме «Разработать опытный образец измерительно-вычислительного комплекса для системы поддержки принятия решений по оценке остаточной устойчивости и жесткости зданий и сооружений» (х/д № 05-1025 (52/1152Д), № ГР 2006339, научный руководитель НИР – П. Ю. Бранцевич).

### **Цель и задачи исследования**

*Целью* диссертационной работы является разработка алгоритмов и программного обеспечения для решения задач вибрационного контроля с опреде-

лением амплитудно-фазовых параметров в режиме реального времени и обработки виброметрических данных для систем поддержки принятия решений по оценке технического состояния механизмов с вращательным движением на базе персональных компьютеров общего назначения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить границы применимости ОС семейства Windows для решения задач обработки вибрационных сигналов в режиме реального времени.
2. Разработать архитектуру программной системы автоматизированного вибрационного контроля с функциями определения амплитудных и фазовых параметров вибрации, работающей под управлением многозадачной операционной системы.
3. Разработать методы и алгоритмы обработки виброметрических данных для систем поддержки принятия решений.
4. Реализовать ПО для многоканальной системы вибрационного контроля.
5. Провести экспериментальные исследования разработанной системы.

*Объектом* исследования являются проблемно ориентированные системы контроля и поддержки принятия решений.

*Предметом* исследования является математическое и программное обеспечение компьютерных систем для решения задач вибрационного контроля, методы и алгоритмы анализа вибрационных данных для поддержки принятия решений.

Основной *гипотезой*, положенной в основу диссертационной работы, является возможность использования компьютеров общего назначения с ОС Windows для решения задач ввода, обработки и анализа вибрационных сигналов в режиме реального времени. Особенности ввода вибрационных данных в системах вибрационного контроля позволяют точно определить момент их готовности, что наряду с организацией передачи данных по каналу прямого доступа в память и специальной реализацией процедуры ввода допускает прием данных в режиме реального времени. Оперативный и многофункциональный анализ больших объемов экспериментальных данных расширит функциональные возможности систем поддержки принятия решений.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Архитектура специализированного программного обеспечения автоматизированной системы вибрационного контроля на базе вычислительной машины общего назначения и универсальной многозадачной операционной системы семейства Windows, отличающаяся тем, что обеспечивается непрерывная регистрация вибросигналов и определение амплитудно-фазовых параметров вибрации в многоканальном режиме работы при контроле состояния технических объектов, функционирующих в стационарных и нестационарных режимах.

2. Метод формирования диагностических признаков для системы поддержки принятия решений по оценке технического состояния механизмов с вращательным движением на основе вейвлет-анализа временных реализаций вибрационных сигналов, отличающийся наличием возможности оперативно

обнаруживать зарождение дефектов, сопровождающихся возбуждением вибраций в фиксированных частотных полосах, что позволяет реализовать экспресс-диагностирование механизмов с вращательным движением.

3. Алгоритм кластерного анализа для принятия решений по отнесению исследуемого объекта к определенной группе вибрационного состояния, отличающийся формированием начальных ядер кластеров на основе предварительно полученных экспериментальных данных и экспертных оценок.

4. Метод определения количественных значений информативно значимых параметров в условиях первоначальной неопределенности на основе анализа экспериментальных данных о состоянии однотипных объектов, что позволяет в дальнейшем классифицировать объекты по техническому состоянию. Применение метода не требует разработки сложных математических моделей исследуемых механизмов.

5. Специализированное программное обеспечение измерительно-вычислительного комплекса «Тембр» для оценки вибрационного состояния механизмов и конструкций.

### **Личный вклад соискателя**

Результаты, приведенные в диссертации, получены либо соискателем, либо при его непосредственном участии. Вклад научного руководителя П. Ю. Бранцевича, заключается в формулировке целей и задач исследования. Соавторы работ принимали участие в разработке и отладке аппаратной части компьютерных систем вибрационного контроля.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на III Республиканской научной конференции студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (Гомель, Беларусь, 2000); IV Республиканской научной конференции студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (Гомель, Беларусь, 2001); VIII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Москва, Россия, 2002); VII Международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Харьков, Украина, 2003); X Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2003» (Зеленоград, Россия, 2003); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы радиоэлектроники: научные исследования, подготовка кадров» (Минск, Беларусь, 2005); VIII Республиканской научной конференции студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (Гомель, Беларусь, 2005); IX Международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и

молодежь в XXI веке» (Харьков, Украина, 2005); X юбилейном Международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Харьков, Украина, 2006); III Международной конференции «IST'2006» (Минск, Беларусь, 2006); Международной научно-практической конференции «Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров» (Минск, Беларусь, 2007); III Международной научной конференции по военнотехническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, Беларусь, 2007); IV Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» (Минск, Беларусь, 2007).

Результаты работы представлены в описании полезной модели «Устройство для обработки вибрационных сигналов при динамических испытаниях конструкции и диагностике механизмов с вращательным движением», зарегистрированным Национальным центром интеллектуальной собственности Республики Беларусь под номером 4050, дата публикации патента 30.12.2007.

### **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 29 печатных работ, из них 4 статьи в рецензируемых изданиях (суммарный объем – один авторский лист), 22 работы в сборниках трудов и материалов международных конференций, 2 депонированные научные работы. Результаты работы включены в 5 отчетов по НИР. По результатам работы получен патент на полезную модель.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений. В первой главе представлен анализ предметной области, выявлены основные существующие проблемы в рамках тематики исследования, показаны направления их решения. Вторая глава посвящена разработке архитектуры ПО и алгоритмов для систем вибрационного контроля, обеспечивающих непрерывную регистрацию и определение амплитудно-фазовых параметров. В третьей главе предложены методы формирования диагностических признаков и определения информативно значимых параметров для СППР по оценке ТС сложных механизмов на основе вейвлет-анализа и спектрального анализа. В четвертой главе предложена практическая реализация ПО для многоканальной системы вибрационного контроля и поддержки принятия решений, представлены результаты экспериментальных исследований метрологических характеристик и практического применения разработанной системы.

Общий объем работы составляет 189 страниц, из которых основного текста – 100 страниц, 52 рисунка на 35 страницах, 8 таблиц на 7 страницах, список использованных источников из 176 наименований на 15 страницах и 6 приложений на 32 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении определена область и указаны основные направления исследования, показана актуальность темы диссертационной работы, дана краткая характеристика исследуемых вопросов, обозначена практическая ценность работы.

В первой главе проведен анализ применяемых архитектурных решений систем, используемых при решении задач виброметрии. Сформулированы основные принципы построения измерительно-диагностических систем, ядром которых является IBM-совместимый компьютер [5–А]. Проанализировано применяемое системное ПО и определена значимость различных параметров ОС РВ при разработке КСВК реального времени. Выполнен анализ применяемых методов и алгоритмов обработки данных вибрационного контроля, выявлены их достоинства и недостатки.

Современная КСВК представляет собой аппаратно-программный комплекс, решающий задачи ввода, обработки и отображения вибрационных сигналов. Базовыми задачами ПО КСВК являются инициализация и управление аппаратной частью, прием, первичная обработка и сохранение полученных данных, обеспечение взаимодействия с пользователем. К специальным задачам относятся реализация методов и алгоритмов обработки и анализа данных, среди которых важное место занимает определение амплитудно-фазовых параметров вибросигнала, а так же принятие решений по оценке ТС исследуемого механизма.

В большинстве случаев реализация вибрационного мониторинга должна осуществляться в режиме реального времени. Термин «реальное время» для систем вибрационного контроля механизмов с вращательным движением соответствует таким затратам времени на ввод, обработку и представление данных, которые не превышают пяти-десяти периодов основной частотной составляющей вибросигнала [20–А]. Для обеспечения режима реального времени строятся системы, основанные на применении ЭВМ как ядра функциональной обработки, с ОС РВ, такими, как QNXNeutrino, VxWorks, Windows CE и LynxOS.

Основными критериями выбора ОС являются ее соответствие техническим характеристикам (например, время реакции системы, надежность) и стоимость использования [4–А]. Сегодня технические параметры различных ОС РВ становятся близкими, и на первый план при выборе конкретной ОС выходят такие характеристики, как наличие развитых средств разработки, стоимость, масштабируемость [14–А].

Расширение функциональных возможностей КСВК, помимо расширения базовых функций, достигается путем разработки новых методов и алгоритмов обработки и анализа данных, в том числе на основе вычислительных экспериментов и математических моделей. Ведется активная разработка методов и алгоритмов выявления диагностических признаков, чувствительных к конкретным видам дефектного состояния, для определенных узлов механизма. Существующие и разрабатываемые методы и алгоритмы используют следующие виды анализа [1–А, 27–А, 28–А]:



- измерение уровня вибрации в стандартных полосах частот;
- широкополосный, например октавный и третьоктавный, анализ вибрации;
- узкополосный спектральный анализ низко- и среднечастотной вибрации;
- узкополосный спектральный анализ вибрации в расширенных диапазонах частот;
- узкополосный спектральный анализ огибающей высокочастотной случайной вибрации, предварительно выделенной полосовым фильтром;
- статистический групповой анализ результатов измерений диагностических параметров;
- вейвлет-анализ.

Результаты исследований, проведенных в этих направлениях, отражены в работах Т. А. Алиева, Ф. Я. Балицкого, А. В. Баркова, Н. А. Барковой, Б. Л. Герике, Н. В. Грунтовича, В. М. Кравченко, А. Б. Логова, Д. Ньюланда (D. Newland), М. Роймера (M. Roemer), В. А. Русова, Н. Сторей (N. Storey), Дж. Хартога (J. Hartog), Дж. Широичи (J. Shiroishi) и др.

**Вторая глава** посвящена разработке архитектуры ПО и алгоритмов для систем вибрационного контроля, обеспечивающих непрерывную регистрацию и определение амплитудно-фазовых параметров на базе вычислительной машины общего назначения с применением модуля АЦП, подключаемого на стандартную шину, и универсальной многозадачной ОС семейства Windows.

Обеспечение функционирования КСВК в режиме реального времени зависит от организации взаимодействия системного ПО и прикладного ПО КСВК [22–А]. Операционная система Windows не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам реального времени, по следующим причинам: недетерминированное время реакции на прерывание; малое количество приоритетов; возможность инверсии приоритетов; неопределенность времени реакции на системные вызовы Win32 API; особенности управления памятью в ОС.

Для обеспечения функционирования КСВК в режиме реального времени на базе ОС Windows предложена совокупность следующих решений [26–А].

Своевременное выполнение критически важной при вводе вибросигналов процедуры передачи данных между аппаратной и программной подсистемами достигается путем специальной организации передачи данных по каналу прямого доступа к памяти (ПДП).

Недостаточное количество приоритетов ОС Windows и возможность их инверсии решается путем минимизации количества процессов, функционирующих в системе, и установкой для программных потоков КСВК приоритетов реального времени.

Непрерывный ввод данных от АЦП в режиме реального времени обеспечивается с помощью специальной организации процедуры считывания данных. Для этого в оперативной памяти создается буфер, организованный по кольцевой схеме, разделенный на два равных блока, и обеспечивается формирование флага готовности при полном заполнении данными одного из блоков буфера.

Предложен алгоритм взаимодействия процедур чтения данных из кольцевого буфера и их обработки/отображения [2–А, 26–А]. Для этого в соответствии

с частотой дискретизации модуля аналого-цифрового ввода вычисляется время готовности блока данных размером в половину буфера. На этот временной интервал программируется работа таймера. Срабатывание таймера приводит к созданию нового потока чтения данных с приоритетом реального времени. Поток чтения данных проводит постоянный опрос флага готовности данных. Установка флага готовности запускает процедуру копирования данных из кольцевого буфера, по окончании которой поток завершается.

Диаграмма переходов состояний при функционировании КСВК, построенного в соответствии с предложенной схемой взаимодействия, представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Диаграмма переходов состояний при функционировании КСВК

Завершение потока чтения данных освобождает процессор для решения других задач, в частности, выполнения потока обработки/отображения данных, который работает до тех пор, пока по событию от таймера не будет инициирован очередной поток считывания данных из кольцевого буфера.

Разработанный способ организации ПО позволяет создавать КСВК, обеспечивающие непрерывный прием, обработку, отображение и сохранение вибрационных сигналов параллельно по нескольким каналам [29–А], включая сигнал от датчика фазовой метки, что позволяет обеспечить определение амплитудно-фазовых параметров вибрации для стационарных и нестационарных режимов работы контролируемых объектов.

Амплитуда и фазовый угол сдвига (в радианах) относительно метки на валу для q-ой оборотной составляющей вибросигнала вычисляются по формулам:

$$A_{o6} = \sqrt{C_{o6}^2 + S_{o6}^2}, \quad \varphi_{o6} = \arctg \frac{S_{o6}}{C_{o6}}, \quad (1)$$

где

$$S_{об} = \frac{2}{L} \sum_{j=0}^{L-1} w_{j+I_n} \sin(pqj), C_{об} = \frac{2}{L} \sum_{j=0}^{L-1} w_{j+I_n} \cos(pqj), \quad (2)$$

где  $L = \text{round}(I_k - I_n - 1 + \Delta_k + \Delta_n)$ , (round – операция округления),

$I_n, I_k$  – номера начального и конечного элементов для анализируемого массива данных, определяемые на основе анализа сигнала от датчика фазовой метки,

$\Delta_n, \Delta_k$  – начальная и конечная поправки, учитывающие неточное соответствие начального и конечного индексов моментам сравнения опорного уровня с сигналом от датчика фазовой метки,

$w_{j+I_n}$  –  $j$ -й отсчет вибросигнала, принятого параллельно с сигналом от датчика фазовой метки, и синхронизированный относительно начального импульса фазовой метки,

$$p = 2\pi K / (I_k - I_n - 1 + \Delta_k + \Delta_n),$$

$K$  – количество периодов сигнала на временном интервале анализа.

Исследования точностных параметров данного алгоритма определения амплитудно-фазовых параметров выполнены на модели вибрационного процесса для нестационарного (пуск, выбег) режима работы механизма:

$$x(t) = \sum_{i=1}^L A_i(t) \cos[2\pi f_i(t)t - \varphi_i(t)], \quad (3)$$

где  $A_i(t), f_i(t), \varphi_i(t)$  – функции, описывающие изменение во времени, соответственно, амплитуды, частоты и фазы  $i$ -й оборотной составляющей.

В дискретном виде линеаризованная модель (3) представляется выражением

$$x_j = \sum_{i=1}^L A_{i,0} \left( 1 + \delta A_i \frac{j}{N} \right) \cos \left[ \frac{2\pi f_{i,0} T_a j}{N} \left( 1 + \delta f_i \frac{j}{N} \right) - \left( \varphi_{i,0} + \Delta \varphi_i \frac{j}{N} \right) \right], \quad (4)$$

где  $\delta A_i$  – относительное изменение амплитуды  $i$ -й оборотной составляющей на интервале анализа,

$N$  – число элементов в массиве,  $j = 0 \dots (N - 1)$ ,

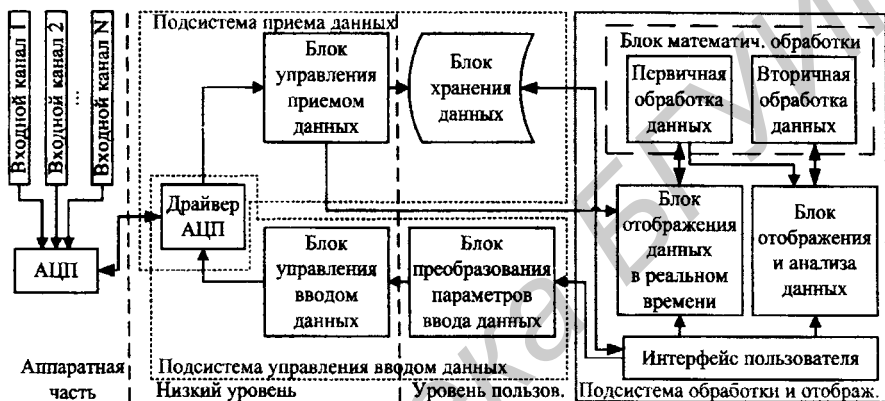
$\delta f_i$  – относительное изменение частоты  $i$ -й оборотной составляющей на интервале анализа,

$\Delta \varphi_i$  – абсолютное изменение начальной фазы  $i$ -й оборотной составляющей на интервале анализа.

Результаты проведенной в диссертационной работе оценки погрешностей при применении данного алгоритма показывают, что предложенный алгоритм

определения амплитудно-фазовых параметров при анализе сигналов, полученных при пусках и выбегах механизмов с вращательным движением, обеспечивает вычисление амплитуды оборотной составляющей с погрешностью, не превышающей 0,2 %, а начальной фазы с абсолютной погрешностью 1,5 градуса.

На рисунке 2 представлена архитектура программной системы для решения задач автоматизированного вибрационного контроля, обеспечивающая непрерывную регистрацию и определение амплитудно-фазовых параметров и функционирующая на компьютерах общего назначения на базе многозадачной ОС общего назначения семейства Windows [6–А, 19–А, 25–А].



**Рисунок 2 – Архитектура программной системы для решения задач автоматизированного вибрационного контроля**

Функционально система состоит из трех основных подсистем.

Подсистема управления вводом данных включает в себя три блока:

1. Драйвер АЦП решает задачи управления устройством АЦП, предоставляет интерфейс управления устройством для ОС, обеспечивает регистрацию устройства АЦП в ОС.

2. Блок управления вводом данных предоставляет функции управления вводом данных уровня ОС, инициализирует АЦП начальными значениями в соответствии с типом используемого устройства и загружает BIOS для данного устройства.

3. Блок преобразования параметров ввода данных осуществляет преобразование значений настроечных параметров, заданных пользователем, в коды, передаваемые в блок управления вводом данных для последующей загрузки в модуль АЦП.

Подсистема приема данных включает следующие блоки:

1. Драйвер АЦП.

2. Блок управления приемом данных решает задачи работы с кольцевым буфером, инициализации таймера подсистемы приема данных.

3. Блок хранения данных обеспечивает сохранение принимаемых данных в файлы, включающие общие параметры ввода и непосредственно вибрационные сигналы, а также информацию о файлах, созданных за один сеанс работы.

Подсистема обработки и отображения данных состоит из следующих блоков:

1. Блок математической обработки содержит два раздела – первичной (определение СКЗ и амплитуды) и вторичной (вычисление спектра сигнала, амплитудно-фазовых параметров, реализация вейвлет-преобразования и т. д.) обработки данных.

2. Блок отображения данных в режиме реального времени выполняет функции отображения в виде графиков принимаемых вибросигналов.

3. Блок отображения и анализа данных предоставляет возможность отображать в виде графиков, диаграмм и таблиц результаты обработки исходных вибрационных сигналов.

В третьей главе предложены методы формирования диагностических признаков и определения информативно значимых параметров для СППР по оценке ТС сложных механизмов на основе вейвлет-анализа и спектрального анализа, а так же алгоритм кластерного анализа для принятия решения по отношению исследуемого объекта к определенной группе вибрационного состояния с формированием начального положения ядер кластеров на основе экспертных и экспериментальных оценок.

Сущность метода формирования диагностических признаков для системы поддержки принятия решений по оценке технического состояния механизмов с вращательным движением на основе вейвлет-анализа временных реализаций вибрационных сигналов состоит в применении нормализованных вейвлетов для обнаружения изменений сигнала в определенной частотной полосе [8–А, 10–А]. В процессе работы КСВК в режиме реального времени вибрационные сигналы непрерывно преобразуются в цифровую форму и подвергаются вейвлет-преобразованию. В качестве вейвлетов для анализа вибрационных сигналов предлагается применять гауссовы вейвлеты и вейвлет Морле. Дискретное вейвлет-преобразование реализуется выражением

$$C(N, m) = \sum_{n=0}^N s(n+m) \Psi \left( \frac{8(n-m) - 4N}{N} \right), \quad (5)$$

где  $N$  – ширина вейвлета,

$m$  – временной сдвиг, изменяющийся от 0 до  $(L - N)$ ,  $L$  – число дискретных отсчетов в анализируемой временной реализации исследуемого сигнала,

$\Psi$  – вейвлет-функция.

Для реализации вейвлета с центральной частотой  $f_w$  (частота, на которой АЧХ вейвлет-функции имеет максимальный коэффициент передачи) необходимо  $N$  дискретных точек:

$$N = \text{round} \left( k \frac{f_d}{f_w} \right), \quad (6)$$

где  $k$  – нормирующий коэффициент, определяемый типом применяемого вейвлета,

$f_d$  – частота дискретизации аналогового сигнала.

Экспериментально определены значения коэффициента  $k$  [20–А]. Для вейвлета типа «мексиканская шляпа» он равен 1,816; для вейвлета «асимметричная волна» – 1,275; для гауссового вейвлета третьего порядка – 2,22; для гауссового вейвлета четвертого порядка – 2,55; для вейвлета Морле – 8,0.

В диссертационной работе представлены результаты обработки длинных реализаций вибрационных сигналов, полученных при исследованиях вибрационного состояния детандер-генераторного агрегата Лукомльской ГРЭС [11–А]. Они показывают, что амплитудные уровни выделенных из вибросигналов вейвлетных функций выполняют роль диагностических признаков, определяющих изменение состояния технического объекта, а так же позволяют оценить динамику происходящих изменений.

Исходными данными для алгоритма кластерного анализа, решающего задачу по отнесению исследуемого объекта к определенной группе вибрационного состояния, являются вибрационные сигналы, полученные для группы однотипных объектов и исследуемого объекта [2–А, 12–А].

На первом шаге алгоритма на основе спектрального анализа, полосового спектрального анализа, количественных оценок формы сигнала, вейвлет-анализа выбирается ряд параметров, наиболее полно характеризующих состояние объекта. На втором шаге строится характеристический вектор. Координатами вектора являются значения выбранных на первом шаге параметров. Третий шаг заключается в кластеризации полученных характеристических векторов.

Для реализации процедуры кластеризации используется итерационный метод динамических ядер. Начальное положение ядер определяется одним из следующих способов [28–А].

1. В качестве ядер на основе экспертных или экспериментальных оценок выбираются определенные характеристические векторы.

2. При условии первоначальной неопределенности ядра формируются путем обработки экспериментально полученных для группы однотипных объектов характеристических векторов, заключающейся в определении наилучшего, наихудшего и среднего значений для каждой координаты вектора.

Результатом кластеризации является отнесение характеристических векторов к одному из сформированных кластеров. Каждому из полученных кластеров ставится в соответствие определенное техническое состояние входящих в него объектов. Таким образом, отнесение исследуемого объекта или системы к какому-либо из кластеров позволяет сопоставить его с одной из возможных категорий технического состояния.

Метод определения количественных значений информативно значимых параметров в условиях первоначальной неопределенности для сложных механизмов на основе анализа экспериментальных виброметрических данных о состоянии однотипных объектов. Полученные в результате применения метода значения используются для распределения механизмов на группы по качеству сборки или ТС [13–А].

На первом этапе выполняется первичная обработка вибрационных данных с целью получения параметров, наиболее полно характеризующих исследуемый объект [3–А]. В качестве параметров, образующих информативный вектор, выбираются:

- амплитуды определенных частотных составляющих (кратных оборотной частоте или обусловленных конструктивными параметрами исследуемых объектов);
- СКЗ в узких частотных полосах, захватывающих информативно значимые частоты;
- показатели, характеризующие форму сигнала, такие, как распределение сигнала по амплитудным зонам, эксцесс, асимметрия, пик-фактор;
- оценки вейвлетных функций.

На втором этапе определяются граничные значения вибрационных параметров для каждой из координат информативного вектора. Расчет граничных значений выполняется по следующему алгоритму [22–А].

1. Для  $N$  механизмов фиксируются значения информативных параметров  $X_i[j]$ ,  $j = 1 \dots N$ , вибрационного сигнала в определенной точке контроля.
2. Производится упорядочивание значений  $X_i[j]$  по возрастанию.
3. Вычисляется усредненное значение  $X_{i, \text{mean}}$  без учета случайных выбросов в соответствии с выражением

$$X_{i, \text{mean}} = \frac{1}{N - 2K} \sum_{m=K}^{N-K} X_i[m], \quad (7)$$

где  $N$  – количество исследуемых механизмов,

$K = \text{int}(N/l)$  – количество неучитываемых значений,  $l$  – коэффициент, выбираемый в зависимости от диапазона разброса исходных значений информативного параметра (4...10).

4. Вычисляются значения нижней  $X_{i, \text{min}}$  и верхней  $X_{i, \text{max}}$  границ информативных параметров:

$$X_{i, \text{min}} = \frac{X_{i, \text{mean}}}{P}, \quad X_{i, \text{max}} = X_{i, \text{mean}} P, \quad (8)$$

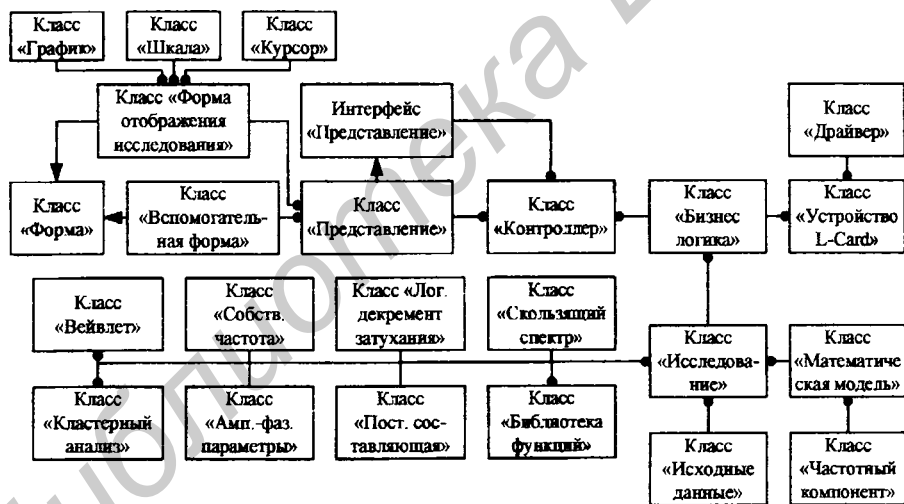
где  $X_{i, \text{mean}}$  – усредненное значение параметров без учета случайных выбросов,

$p$  – коэффициент зонного разбиения, значение которого выбирается из ряда ( $\sqrt{2}$ ; 1,6; 2; 3) и уточняется по мере получения данных о неисправностях, возникающих в механизмах в ходе эксплуатации.

$X_{i, \min}$ ,  $X_{i, \max}$  выполняют роль информативно значимых параметров при принятии решения об отнесении объекта к определенной группе ТС, которое принимается на основе покоординатного сравнения вектора параметров, полученного для текущего состояния объекта, с граничными векторами.

В диссертационной работе представлены результаты применения предложенных методов для решения задачи оценки качества сборки узлов автомобиля БелАЗ, для которых, в настоящее время, нет нормированных параметров по вибрации.

В четвертой главе рассмотрена практическая реализация ПО для многоканальной системы вибрационного контроля, представлены результаты экспериментального исследования разработанной системы. Система построена по модульно-функциональному принципу, когда основные функциональные действия реализуются отдельными классами [15–А, 18–А, 22–А]. Диаграмма классов ПО автоматизированной системы вибрационного контроля и ППР приведена на рисунке 3.

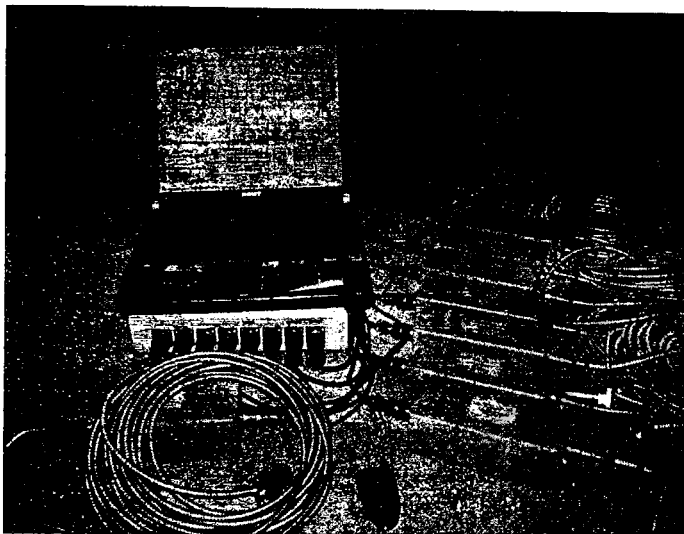


**Рисунок 3 – Диаграмма классов программного обеспечения автоматизированной системы вибрационного контроля и ППР**

Экспериментальные исследования разработанной программной системы автоматизированного вибрационного контроля и ППР выполнены на базе опытного образца измерительно-вычислительного комплекса, решающего задачи вибрационного контроля и ППР по оценке технического состояния механизмов с вращательным движением и остаточной устойчивости и жесткости зданий и сооружений (рисунок 4) [26–А]. Проведены эксплуатационные испыта-



ния комплекса и метрологическая аттестация в РУП «Белорусский государственный институт метрологии».



**Рисунок 4 – Измерительно-вычислительный комплекс «Тембр» для оценки вибрационного состояния механизмов и конструкций**

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Предложена архитектура программной системы для решения задач автоматизированного вибрационного контроля, обеспечивающая непрерывную регистрацию и определение амплитудно-фазовых параметров вибрационных сигналов и функционирующая на компьютерах общего назначения на базе многозадачной ОС общего назначения семейства Windows [4–А, 19–А]. Функционирование системы в режиме реального времени обеспечивается реализацией специальной подсистемы ввода данных, использующей механизмы прямого доступа к памяти [21–А]. Для этого режима работы предложен алгоритм определения амплитудно-фазовых параметров вибрации [1–А]. С учетом особенностей ОС разработан механизм сопряжения пользовательского программного обеспечения с модулем аналого-цифрового ввода [21–А].

2. Предложен метод формирования диагностических признаков для системы поддержки принятия решений по оценке технического состояния механизмов с вращательным движением на основе вейвлет-анализа временных реализаций вибрационных сигналов [9–А, 24–А]. Получены выражения для определения ширины вейвлета, обеспечивающей АЧХ с заданной центральной частотой [24–А]. Предложенный метод позволяет реализовать автоматизированную

систему вибрационного контроля и оценки технического состояния с возможностью контроля изменения параметров механизма в определенных частотных полосах. Проведены экспериментальные исследования предложенного метода [26–А]. Исследования вибрационных сигналов детандер-генераторного агрегата, подверженного возникновению флуктуационных всплесков вибрации при изменении режима работы, показали эффективность метода и возможность его применения для решения задач экспресс-диагностирования.

3. Разработан алгоритм кластерного анализа для принятия решений по отнесению исследуемого объекта к определенной группе вибрационного состояния [27–А]. Предложены правила формирования характеристических векторов, которые используются алгоритмом в качестве ядер. Анализ эффективности алгоритма выполнен при исследованиях вибрационного состояния узлов автомобиля БелАЗ [2–А, 11–А].

4. Предложен метод определения количественных значений информативно значимых параметров в условиях первоначальной неопределенности на основе анализа экспериментальных данных о состоянии однотипных объектов [3–А, 10–А]. Предложены способы обработки вибрационного сигнала для получения информативных векторов [12–А]. Метод применен для оценки качества сборки заднего моста автомобиля БелАЗ-7555 по вибрационным параметрам при проведении приемосдаточных испытаний.

5. Разработано программное обеспечение опытного образца измерительно-вычислительного комплекса «Тембр» для оценки вибрационного состояния механизмов и конструкций [18–А]. Измерительно-вычислительный комплекс прошел метрологическую аттестацию в РУП «Белорусский государственный институт метрологии» и в настоящее время эксплуатируется в Научно-исследовательском институте пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь [26–А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Полученные результаты формируют теоретическую и практическую базу для разработки ПО компьютерных систем для решения задач вибрационного контроля с применением компьютеров общего назначения, функционирующих в режиме реального времени. Они могут быть использованы для модернизации и дальнейшего развития существующих систем.

2. Разработанные методы и алгоритмы анализа вибрационных сигналов могут применяться в автоматизированных системах вибрационного контроля и поддержки принятия решения для определения качества изготовления и сборки различных узлов, оценки остаточной устойчивости и жесткости зданий и сооружений, контроля и оценки состояния механизмов и агрегатов с вращательным движением.

3. Результаты работы могут использоваться при подготовке персонала для разработки и обслуживания компьютерных систем, решающих задачи вибрационного контроля и принятия решений по оценке состояния технических объектов.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### *Статьи в научных журналах*

1–А. Носко, Д.В. Алгоритмы и программные средства системы оценки технического состояния механизмов по вибрационным параметрам / Д.В. Носко, П.Ю. Бранцевич, С.В. Коростель // Известия Белорусской инженерной академии. – 2002. – № 1(13)2. – С. 36–38.

2–А. Носко, Д.В. Методические подходы и организация программных средств для обработки данных о вибрационном состоянии узлов большегрузных автомобилей / Д.В. Носко, П.Ю. Бранцевич // Известия Белорусской инженерной академии. – 2005. – № 2(20)1. – С. 69–71.

3–А. Носко, Д.В. Определение информативных признаков для системы поддержки принятия решений / Д.В. Носко, П.Ю. Бранцевич // Инженерный вестник. – 2006. – № 1(21)3. – С. 166–168.

4–А. Носко, Д.В. Организация системы анализа сигналов в режиме реального времени на базе операционной системы Windows / Д.В. Носко // Доклады БГУИР. – 2007. – № 4(20). – С. 168–174.

### *Материалы научных конференций*

5–А. Носко, Д.В. Программно-алгоритмические средства обработки данных вибрационного контроля / Д.В. Носко // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы III Респ. науч. конф. студ. и асп., Гомель, 13 – 18 марта 2000 г.: в 2 ч. / Гомел. гос. ун-т им. Франциска Скорины; редкол.: Л.А. Шеметков [и др.]. – Гомель, 2000. – Ч. 2. – С. 26–28.

6–А. Носко, Д.В. Система представления данных вибрационного контроля / Д.В. Носко // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы IV Респ. науч. конф. студ. и асп., Гомель, 19 – 22 марта 2001 г. / Гомел. гос. ун-т им. Франциска Скорины; редкол.: М.В. Селькин [и др.]. – Гомель, 2001. – С. 179–180.

7–А. Носко, Д.В. Применение вейвлет-анализа для обработки вибрационных данных / Д.В. Носко // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы V Респ. науч. конф. студ. и асп., Гомель, 17 – 19 марта 2003 г. / Гомел. гос. ун-т им. Франциска Скорины; редкол.: М.В. Селькин [и др.]. – Гомель, 2003. – С. 175–176.

8–А. Носко, Д.В. Применение вейвлет-анализа для обработки вибрационных данных / Д.В. Носко // «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке»: материалы VII Междунар. молодеж. форума, Харьков, 22 – 24 апр. 2003 г. / Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники; редкол.: М.И. Слипченко [и др.]. – Харьков, 2003. – С. 324.

9–А. Носко, Д.В. Оценка вибрационных характеристик выбега турбоагрегата с помощью вейвлет-анализа / Д.В. Носко // «НИРС–2003»: материалы VIII Респ. науч.-техн. конф. студ. и асп., Минск, 9 – 10 дек. 2003 г.: в 7 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2003. – Ч. 7. – С. 70–71.

10–А. Носко, Д.В. Подходы к проектированию программных средств оценки качества сборки узлов большегрузных автомобилей / Д.В. Носко, Е.Н. Лагун // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы VIII Респ. науч. конф. студ. и асп., Гомель, 14 – 16 марта 2005 г. / Гомел. гос. ун-т им. Франциска Скорины; редкол.: Д.Г. Лиин [и др.]. – Гомель, 2005. – С. 134.

11–А. Носко, Д.В. Обработка вибрационных данных при оценке качества сборки узлов большегрузных автомобилей / Д.В. Носко, Е.Н. Лагун // «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке»: материалы IX Междунар. молодеж. форума, Харьков, 19 – 21 апр. 2005 г. / Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники; редкол.: М.И. Слипченко [и др.]. – Харьков, 2005. – С. 432.

12–А. Носко, Д.В. Разработка интерфейса программного средства для проведения сравнительного анализа виброметрических данных / Д.В. Носко, Н.Н. Акуленко // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы IX Респ. науч. конф. студ. и асп., Гомель, 13 – 15 марта 2006 г. / Гомельский гос. ун-т им. Франциска Скорины; редкол.: Д.Г. Лиин [и др.]. – Гомель, 2006. – С. 85–86.

13–А. Носко, Д.В. Разработка интерфейса программного средства для проведения сравнительного анализа виброметрических данных / Д.В. Носко, Н.Н. Акуленко // «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке»: материалы X юбилейного Междунар. молодеж. форума, Харьков, 10 – 12 апр. 2006 г. / Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники; редкол.: М.И. Слипченко [и др.]. – Харьков, 2006. – С. 528.

14–А. Носко, Д.В. Табличная реализация вейвлет-преобразования для анализа вибрационных данных / Д.В. Носко, О.С. Колчина // «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке»: материалы X юбилейного Междунар. молодеж. форума, Харьков, 10 – 12 апр. 2006 г. / Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники; редкол.: М.И. Слипченко [и др.]. – Харьков, 2006. – С. 510.

15–А. Носко, Д.В. Организация программного обеспечения систем, ориентированных на исследование состояния технических объектов / Д.В. Носко, П.Ю. Бранцевич // Информационные системы и технологии (IST'2006): материалы III Междунар. конф., Минск, 1 – 3 нояб. 2006 г.: в 2 ч. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: А.Н. Курбацкий [и др.]. – Минск, 2006. – Ч. 1. – С. 8–11.

16–А. Носко, Д.В. Использование таймеров ОС WINDOWS в работе приложений реального времени / Д.В. Носко, П.Ю. Бранцевич, Н.В. Степанчук, Д.В. Струневский // XI Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке»: материалы XI Междунар. молодеж. форума, Харьков, 12 – 14 апр. 2007 г. / Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники; редкол.: М.И. Слипченко [и др.]. – Харьков, 2007. – С. 387.

17–А. Носко, Д.В. Анализ длинных временных реализаций с помощью вейвлетов / Д.В. Носко, П.Ю. Бранцевич, О.С. Юревич // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров: сб. материалов по итогам работы МНПК, Минск, 10 – 11 апр. 2007 г.: в 4 ч. / Минский гос. высш. радиотехнический колледж; редкол.: Н.А. Цырельчук [и др.]. – Минск, 2007. – Ч. 1. – С. 29–33.

18–А. Носко, Д.В. Измерительно-вычислительный комплекс для исследования остаточной устойчивости и жесткости строительных конструкций / Д.В. Носко, П.Ю. Бранцевич, А.А. Павлович, Н.В. Хурс // XI международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке»: материалы XI Междунар. молодеж. форума, Харьков, 12 – 14 апр. 2007 г. / Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники; редкол.: М.И. Слипченко [и др.]. – Харьков, 2007. – С. 93.

### *Тезисы докладов*

19–А. Носко, Д.В. Система модельного представления вибрационного состояния многоопорных механизмов с вращательным движением / Д.В. Носко // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тез. докл. VIII Междунар. науч.-техн. конф. студ. и асп., Москва, 28 февр. – 1 марта 2002 г.: в 3 ч. / Моск. энерг. ин-т; редкол.: А.В. Клименко [и др.]. – Москва, 2002. – Ч. 3. – С. 222–223.

20–А. Носко, Д.В. Использование вейвлет-преобразований для обработки данных вибрационного контроля / Д.В. Носко // Микроэлектроника и информатика – 2003: тез. докл. X Всерос. межвуз. науч.-техн. конф. студ. и асп., Зеленоград, 23 – 24 апр. 2003 г. / Моск. гос. ин-т электрон. техники; редкол.: В.А. Бархоткин [и др.]. – Москва, 2003. – С. 216.

21–А. Носко, Д.В. Реализация программного обеспечения для обработки вибрационных сигналов на базе платформы .NET / Д.В. Носко // Актуальные проблемы радиоэлектроники: научные исследования, подготовка кадров: сб. науч. ст. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2 – 3 июня 2005 г.: в 3 ч. / Минский гос. высш. радиотех. колледж; редкол.: Н.А. Цырельчук [и др.]. – Минск, 2005. – Ч. 2. – С. 148–151.

22–А. Носко, Д.В. Организация аппаратно-программного комплекса реального времени ввода и отображения вибрационных данных / Д.В. Носко // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров: сб. материалов по итогам работы МНПК, Минск, 10 – 11 апреля 2007 г.: в 4 ч. / Минский гос. высш. радиотех. колледж; редкол.: Н.А. Цырельчук [и др.]. – Минск, 2007. – С. 95–99.

23–А. Носко, Д.В. Программно-алгоритмическое обеспечение ИВК «Тембр» / Д.В. Носко, П.Ю. Бранцевич, М.М. Жук // IV Международная научно-практическая конференция «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация»: сб. тез. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. / редкол.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Минск, 2007. – Т. 1. – С. 188–191.

24–А. Носко, Д.В. Измерительно-вычислительный комплекс «Тембр» для исследования остаточной устойчивости и жесткости строительных конструкций / Д.В. Носко, П.Ю. Бранцевич, М.М. Жук, С.Ф. Костюк, И.Е. Ероховец // IV Международная научно-практическая конференция «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация»: сб. тез. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. / редкол.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Минск, 2007. – Т. 1. – С. 183–186.

25–А. Носко, Д.В. Измерительно-вычислительный комплекс «Тембр» для диагностики технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений. / Д.В. Носко, М.М. Жук, П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк, И.Е. Ероховец // III Международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения: тез. докл. / ГУ «БелИСА». – Минск, 2007. – С. 268.

26–А. Носко, Д.В. Применение вейвлет-анализа для исследования виброударных сигналов / Д.В. Носко, П.Ю. Бранцевич, М.М. Жук // IV Международная научно-практическая конференция «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация»: сб. тез. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. / редкол.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Минск, 2007. – Т. 1. – С. 186–188.

#### *Депонированные научные работы*

27–А. Носко, Д.В. Методы, алгоритмы для исследования характеристик, оценки технического состояния и диагностирования сложных систем / Д.В. Носко // Разработать методы, алгоритмы и программные модули для исследования характеристик, оценки технического состояния и диагностирования сложных систем (отчет о НИР) / В.Н. Ярмолик [и др.]; Белорус. гос. ун-т информатики и радиозлектроники – Минск, 2005. – 111 с. : 24 ил. – Библиогр.: С. 105–111. – Деп. в ГУ «БелИСА» 07.04.06, № Д200618. – С. 68–77.

28–А. Носко, Д.В. Анализ и обработка вибрационных сигналов, возбуждаемых на корпусе мотор-колеса карьерного самосвала 75131 при проведении испытаний на обкаточном стенде / Д.В. Носко // Проведение исследований по созданию вибродиагностической системы определения качества изготовления и сборки узлов автомобилей БелАЗ / П. Ю. Бранцевич, С. Ф. Костюк, И. Е. Ероховец, Д. В. Носко; Белорус. гос. ун-т информатики и радиозлектроники. – Минск, 2005. – 99 с. : 42 ил. – Библиогр.: 6 назв. – Деп. в ГУ «БелИСА» 28.02.06, № Д20067. – С. 36–43.

#### *Патенты*

29–А. Устройство для обработки вибрационных сигналов при динамических испытаниях конструкций и диагностике механизмов с вращательным движением: пат. 4050 Респ. Беларусь, МПК (2006) G 01H 17/00 / П.Ю. Бранцевич, И.Е. Ероховец, С.Ф. Костюк, Д.В. Носко, А.Н. Кудряшов, С.Г. Котов, А.И. Дедюля, М.М. Жук; заявитель НИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций, Бел. гос. ун-т информатики и радиозлектроники. № u 20060802; заявл. 28.11.06; опуб. 30.12.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 6. – С. 214.



Носко Дзяніс Вітальевіч

## СПЕЦЫЯЛІЗАВАННЯ АЛГАРЫТМЫ І ПРАГРАМНАЕ ЗАБЕСПЯЧЭННЕ КАМПУТАРНЫХ СІСТЭМ КАНТРОЛЮ І АНАЛІЗУ ВІБРАЦЫЙНАГА СТАНУ ТЭХНІЧНЫХ АБ'ЕКТАЎ

*Ключавыя словы:* рашэнне, сігнал, вібрацыя, сістэма рэальнага часу, праграмнае забеспячэнне.

*Мэта работы:* распрацоўка алгарытмаў і праграмнага забеспячэння для рашэння задач вібрацыйнага кантролю з вызначэннем амплітудна-фазавых параметраў у рэжыме рэальнага часу і метадаў апрацоўкі вібраметрычных даных.

*Метады даследавання:* лічбавая апрацоўка сігналаў, аналіз часавых радоў, матэматычнае мадэляванне, тэорыя прыняцця рашэнняў.

*Атрыманыя вынікі і іх навізна.* Прапанавана архітэктара праграмнага забеспячэння аўтаматызаванай сістэмы вібрацыйнага кантролю на базе вылічальнай машыны агульнага прызначэння з ужываннем модуля АЛП, падлучанага на стандартную шыну, і універсальнай шматзадачнай аперацыйнай сістэмы сямейства Windows, якая дазваляе забяспечыць функцыянальныя магчымасці, неабходныя для вібрацыйнага кантролю ў рэжыме рэальнага часу, і вызначэнне амплітудна-фазавых параметраў вібрацыянага сігналу. Гэта дазваляе пашырыць даступнасць сістэм далгенага тыпу і знізіць выдаткі на іх распрацоўку, выраб і эксплуатацыю. Прапанаваны метады фарміравання дыягнастычных прыкмет з ужываннем вейвлет-аналізу, заснаваны на выяўленні зараджэння і развіцця абурэнняў на фіксаваных частотах. Прапанаваны алгарытм кластарнага аналізу для прыняцця рашэнняў аб аднясенні аб'екта даследавання да вызначанай групы вібрацыйнага стану. У рабоце таксама прапанована метады вызначэння колькасных значэнняў інфарматыўна значных параметраў ва ўмовах першапачатковай нявызначанасці на аснове аналізу эксперыментальных даных аб стане аднатыпных аб'ектаў. На аснове праведзеных даследаванняў распрацавана праграмнае забеспячэнне для шматканальнай сістэмы вібрацыйнага кантролю і падтрымкі прыняцця рашэнняў.

*Галіна ужывання:* аўтаматызацыя працэсаў кантролю за вібрацыйным станам аб'ектаў. Аўтаматызацыя працэсаў даследавання тэхнічнага стану. Даследаванне сігналаў.

Носко Денис Витальевич

### СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

*Ключевые слова:* решение, сигнал, вибрация, система реального времени, программное обеспечение.

*Цель работы:* разработка алгоритмов и программного обеспечения для решения задач вибрационного контроля с определением амплитудно-фазовых параметров в режиме реального времени и методов обработки виброметрических данных.

*Методы исследования:* цифровая обработка сигналов, анализ временных рядов, математическое моделирование, теория принятия решений.

*Полученные результаты и их новизна.* Предложена архитектура программного обеспечения автоматизированной системы вибрационного контроля на базе вычислительной машины общего назначения с применением модуля АЦП, подключаемого на стандартную шину, и универсальной многозадачной операционной системы семейства Windows, позволяющая обеспечить функциональные возможности, требуемые для вибрационного контроля в режиме реального времени, и определение амплитудно-фазовых параметров вибросигнала. Это позволяет расширить доступность систем данного типа и снизить затраты на их разработку, изготовление и эксплуатацию. Предложен метод формирования диагностических признаков с применением вейвлет-анализа, основанный на обнаружении зарождения и развития возмущений на фиксированных частотах. Предложен алгоритм кластерного анализа для принятия решений по отнесению исследуемого объекта к определенной группе вибрационного состояния. В работе также предлагается метод определения количественных значений информативно значимых параметров в условиях первоначальной неопределенности на основе анализа экспериментальных данных о состоянии однотипных объектов. На основе проведенных исследований разработано программное обеспечение для многоканальной системы вибрационного контроля и поддержки принятия решений.

*Область применения:* автоматизация процессов контроля за вибрационным состоянием объектов. Автоматизация процессов исследования технического состояния. Исследование сигналов.



## SUMMARY

Nosko Dzianis Vitalievich

### SPECIALIZED ALGORITHMS AND THE COMPUTER SYSTEMS CONTROL AND THE ANALYSIS OF THE VIBRATING STATE OF TECHNICAL OBJECTS SOFTWARE

*Keywords:* decision, signal, vibration, real time system, software.

*The goal of this work* is algorithm and the software development for the vibrating control task with definition of peak-phase parameters in real-time mode and processing vibratory data.

*Research methods:* Digital signal processing, time-series analysis, mathematical modeling, decision theory.

*The obtained results and their novelty.* architecture of the software automated system vibrating control for the computer of a general-purpose type with utilization of module ADC (Analog to Digital Converter) connected on the standard data bus, and usual multitask operational system "Windows" family, allowing to provide the functionalities demanded for the vibrating control in real time mode with definition of peak-phase parameters is proposed. It allows to expand availability this type systems and lower expenses for their development, production and maintenance. The method of revealing of diagnostic tags with application of wavelet analysis, grounded on detection of initiation and progress of indignations on the fixed frequencies is offered. The algorithm of cluster analysis for decision-making on reference of the researched object to certain group of a vibrating state is offered. The method of definition of quantitative values of informatively significant parameters in the conditions of initial uncertainty on the basis of the analysis of experimental data about a state of the same objects also is offered. On the basis of the fulfilled researches the software for multi-channel system of the vibrating control and decision-making support is developed.

*Field of application:* automation of processes of the control over a vibrating state of objects. Automation of processes of technical state research. Research of signals.

НОСКО ДЕНИС ВИТАЛЬЕВИЧ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА  
ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Специальность 05.13.01 – Системный анализ,  
управление и обработка информации

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать 18.07.2009.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 457.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.  
220013, Минск, П. Бровки, 6