

УДК 681.3

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА

Бранцевич П.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, Республика Беларусь, [branc@bsuir.by](mailto:branc@bsuir.by)

Аннотация: рассматривается применение компьютерных измерительно-вычислительных комплексов непрерывного вибрационного контроля, мониторинга и автоматики защиты сложных механизмов и агрегатов с вращательным движением, регистрации и обработки длинных временных реализаций вибрационных сигналов. Представлены алгоритмы обработки длинных реализаций вибрационных сигналов с целью определения информативно-значимых параметров и характеристик для дальнейшего их использования в автоматизированных и автоматических системах принятия решений.

Ключевые слова: вибрация, сигнал, цифровая обработка, параметр, характеристика, решение

### I. ВВЕДЕНИЕ

В энергетике, газотранспортной системе, на предприятиях критической инфраструктуры важнейшим требованием является предотвращение аварийных ситуаций. Поэтому в процессе эксплуатации производственного оборудования необходимы оценка и прогнозирование изменения его технического состояния, своевременное предупреждение и обнаружение возникающих дефектов. Для сложных механизмов и агрегатов с вращательным движением вибрационный контроль, мониторинг, диагностика являются основополагающими в решении этих задач [1].

Сложные задачи, возникающие при оценке состояния механизмов и агрегатов, решении задач технической диагностики, проведении испытаний, требуют соответствующего аппаратного, алгоритмического, программного, метрологического и методического обеспечения. Вычислительная мощность современным малогабаритных компьютеров, возможность подключения к ним по стандартизованным интерфейсам аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и специализированных устройств позволяют создавать на их основе измерительно-вычислительные комплексы (ИВК), способные решать перечисленные задачи и обладающие при этом гибкостью, модифицируемостью, возможностью функциональной расширяемости и адаптации под новые задачи и условия применения.

Эффективность и круг решаемых задач таких систем в основном определяется возможностями математического и программного обеспечения (ПО). Их роль еще больше возрастает в связи с необходимостью автоматизации ряда сопутствующих задач, связанных с планированием хода испытаний, проведением метрологической аттестации и периодической поверки испытательного и виброизмерительного оборудования, обработкой результатов испытаний и измерений, принятием решений. Компьютерные системы собирают большой объем информации о состоянии контролируемых объектов и по сути являются системами больших данных.

### II. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИВК ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Для решения задач по улучшению вибрационного контроля, мониторинга, оценки технического состояния турбоагрегатов Белорусской энергосистемы была предложена концепция построения компьютерных ИВК. Компьютер является основным элементом такого ИВК, а его функциональность определяется программным обеспечением, разрабатываемым под конкретные производственные задачи и достаточно просто модифицируемым при изменении или расширении функциональных требований. Для преобразования аналоговых сигналов в цифровые используется универсальный модуль АЦП, подключаемый на стандартную шину компьютера и работающий в режиме реального времени. На входы АЦП подаются сигналы от первичных источников информации (датчиков), которые преобразуют изменения физических величин в электрический сигнал тока или напряжения [2].

Предложена структура ИВК для работы в режиме реального времени с групповым переключением каналов для многоточечного контроля многоопорного механизма или агрегата. Разработано несколько модификаций ИВК (серия «Лукомль», «Палессе», «Полоцк-2003»). При работе ИВК «Лукомль» для определения параметров вибрационных сигналов в большинстве случаев используется вибрационный сигнал длиной 200 мс, что соответствует десяти оборотам вала турбоагрегата, вращающегося с частотой 50 Гц [3]. Каждая подшипниковая опора контролируется в трех направлениях: вертикальном, горизонтально-поперечном и горизонтально-осевом. Для каждой точки контроля вычисляется 14 параметров вибрации, а для подшипниковой опоры, соответственно, 42. Для турбоагрегата с восемью

подшипниковыми опорами каждые 2 секунды вычисляются 336 параметров. Следовательно, для турбоагрегата за час получается 604800 значений параметров вибрации, а за сутки – 14515200, которые сохраняются в файлах на жестком диске компьютера. Таким образом, внедрение ИВК «Лукомль» обеспечило получение данных, на основе которых были сформулированы индивидуальные алгоритмы автоматики защиты [4].

Функциональность ИВК серии "Лукомль-2001" определяется программно-алгоритмическими средствами, которые предоставляют возможность пользователю путем установки соответствующих значений настроечных параметров выбрать нужный режим работы. Более тридцати ИВК серии "Лукомль-2001" внедрены на предприятиях энергетики Беларуси и введены в промышленную эксплуатацию [5-7].

Программное средство ИВК «Лукомль-2001» обеспечивает реализацию вибрационного контроля и мониторинга подшипниковых опор турбоагрегатов с определением амплитудных и фазовых параметров вибрации в режимах пуска-останова и штатного стационарного виброконтроля с функциями технологической сигнализации и принятия решений о защитном отключении (рис. 1) [7, 8].

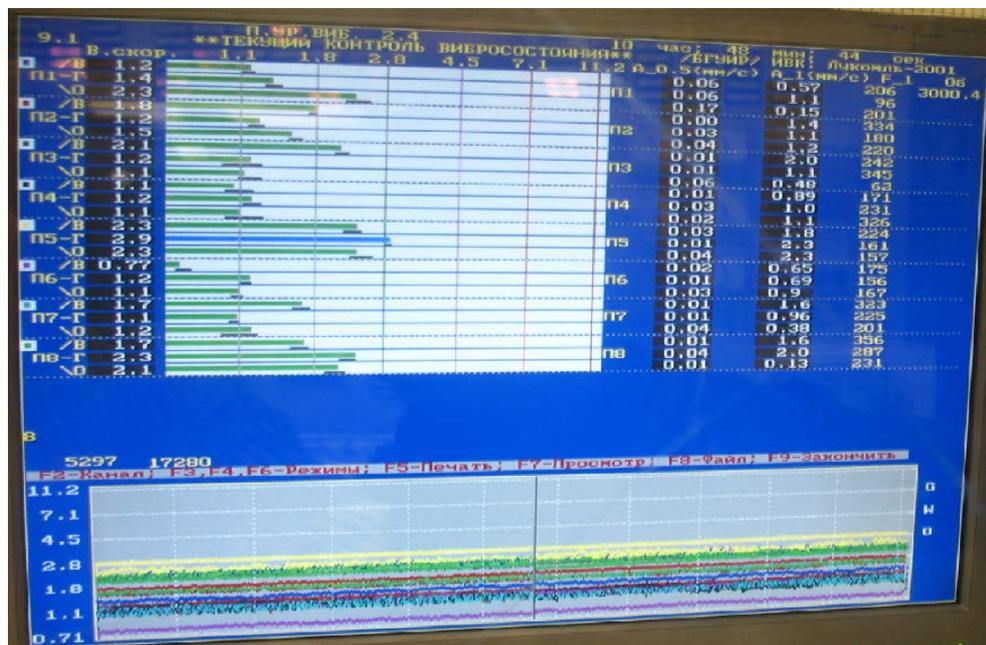


Рисунок 1. Представление результатов вибрационного контроля и мониторинга на экране компьютера

К компьютеру ИВК по RS интерфейсу подключается блок реле для управления щитовой сигнализацией и защитным отключением турбоагрегата. В соответствии с заданными алгоритмами принятия решений о сигнализации и защитном отключении программно формируются управляющие байты, которые передаются в этот блок. Биты этого управляющего байта определяют замыкание (значение бита 1) или размыкание (значение бита 0) контактов соответствующего реле.

В самом простом случае сигнал на защитное отключение выдается при превышении по любому из виброизмерительных каналов, установленных на подшипниковых опорах турбоагрегата СКЗ виброскорости в частотной полосе 10–1000 Гц значения 11,2 мм/с. Более практико-ориентированный алгоритм требует не только превышения СКЗ виброскорости уровня 11,2 мм/с по любому из каналов измерений, но и наличия превышения СКЗ виброскорости по любому из остальных каналов значения 4,5 мм/с.

Системы вибрационного контроля и защиты, построенные на базе компьютерной техники, позволяют реализовать разнообразные и сложные алгоритмы защиты, ориентированные на конкретные типы дефектов и аварийных ситуаций. Это, в свою очередь, позволяет избежать необоснованных («ложная тревога») срабатываний защитного отключения и не допустить «пропуска дефекта». Реализован и прошел апробацию на ряде турбоагрегатов алгоритм защитного отключения по вибрации, в котором учитывается несколько факторов [9, 10].

Если стоит задача создания системы проактивного технического обслуживания оборудования, то возникает потребность тщательного изучения изменений вибрационного состояния технических объектов на разных режимах работы в течение их эксплуатации, обнаружения редких кратковременных изменений структуры вибрационного сигнала и выявления причинно-следственных связей между их появлением и развитием дефектов. Для этого осуществляется регистрация и анализ непрерывных вибрационных сигналов, отражающих состояние объекта, на протяжении длительных временных интервалов (часы и даже сутки). Для практической реализации данного метода исследований разработан 16-канальный ИВК «Тембр» («Тембр-М» для амплитудно-фазовых измерений) на базе ноутбука, модуля АЦП, виброизмерительных каналов с первичными виброизмерительными преобразователями и проблемно-ориентированного программного обеспечения [2, 11].

Измерительно-вычислительный комплекс "Тембр" (рис. 2) содержит следующие функциональные узлы и блоки: канал виброизмерительный двухкомпонентный (до 8), состоящий из двухкомпонентного виброизмерительного преобразователя и согласующих усилителей с полосовой частотной фильтрацией; блок ввода цифровых кодов в компьютер по USB каналу, содержащий 16-и канальный АЦП, аналоговый коммутатор и конвертор питающего напряжения; мобильный компьютер типа Note-Book; соединительные кабели (до 50 метров).



Рисунок 2. ИВК «Тембр» для непрерывной регистрации вибрационных сигналов

Для обеспечения метрологических характеристик производится калибровка виброизмерительных каналов с целью определения их коэффициентов преобразования в единицах измерения  $МВ \cdot с^2/м$ .

Основными функциями комплекса являются: ввод цифровых сигналов, отражающих вибрационные колебания конструкции при импульсном возбуждении или колебания подшипниковых опор и корпусов механизмов с возвратно-поступательным или вращательным движением; запись принятой реализации цифрового вибрационного сигнала в файл(ы); оперативное определение основных параметров вибросигнала; представление вибрационного сигнала в графическом виде в виде временной реализации или амплитудного спектра.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны концептуальные основы современного научного направления «Компьютерные системы и измерительно-вычислительные комплексы цифровой обработки вибрационных сигналов». Предложены структуры ИВК на базе типовых элементов компьютерной техники. Функциональность таких ИВК определяется разработанным прикладным программным обеспечением. Данный подход снижает затраты на производство, модификацию и эксплуатацию комплексов. Обеспечивается многофункциональность и быстрая настройка под тип контролируемого оборудования. В настоящее время выполняются работы по созданию систем распределенного сбора (встроенные компьютерные

модули) и централизованной интеллектуальной обработки (облачные хранилища) вибрационных и иных информативно-значимых сигналов и данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова [и др.]. Вибродиагностика, – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.
- [2] Бранцевич П.Ю. Компьютерные системы и комплексы обработки вибрационных сигналов / П.Ю. Бранцевич. – Минск: Бестпринт, 2023. – 282 с.
- [3] Бранцевич, П.Ю. Цифровая обработка вибрационных сигналов / П.Ю. Бранцевич. – Минск: Бестпринт, 2022. – 297 с.
- [4] Бранцевич П.Ю. ИВК «Лукомль-2001» для вибрационного контроля. Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 12 (69). – С. 19–21.
- [5] Бранцевич П.Ю. Измерительно-вычислительный комплекс "Лукомль-2001". Программа вибрационного контроля. Описание программы. 375.ГЛЮИ. 00001-01 13 01 ЛУ. – Минск: БГУИР-БЭРН, 1998. – 29 с.
- [6] Бранцевич П.Ю. Измерительно-вычислительный комплекс "Лукомль-2001". Программа вибрационного контроля с определением амплитудных и фазовых параметров вибрации. Описание программы. 375.ГЛЮИ. 00002-01 13 01 ЛУ. – Минск: БГУИР-БЭРН, 1998. – 60 с.
- [7] Бранцевич П.Ю. Разработать и внедрить комплекс программно – алгоритмических средств непрерывного вибрационного мониторинга опор роторных агрегатов электростанций на базовом образце. – Мн.: БГУИР, Деп. в БелИСА 9.03.1999 г., № Д199920, 92 с.
- [8] Brancevich P. Organization of the vibration-based monitoring and diagnostics system for complex mechanical system / P. Brancevich, X. Miao, Y. Li // 20-th International Congress on Sound and Vibration 2013 (ICSV 20). – NY, USA, Curran Associates, Inc., 2014. – Vol. 1. – P. 612–619.
- [9] Brancevich P.Y. Implementation of Decision-Making Systems Based on a Typical Decisive Element / P.Y. Brancevich // Doklady BGUIR. – 2023. – Vol. 21, – № 5. – С. 96–103
- [10] Бранцевич, П.Ю. Алгоритмы защиты по вибрации для детандер-генераторного агрегата / П.Ю. Бранцевич, В.А. Гузов, И.Е. Ероховец, С.Ф. Костюк // Проблемы вибрации, виброналадки, вибромониторинга и диагностики оборудования электрических станций: сб. докл.; под общ. ред. А.В. Салимона. – Москва: ОАО «ВТИ», 2005. – С. 122–124.
- [11] Бранцевич, П.Ю. Методика применения измерительно-вычислительного комплекса "Тембр-М" при оценке вибрационного состояния механизмов и агрегатов / П.Ю. Бранцевич // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. – 2014. – № 4. – С. 55–67.

#### COMPUTER MEASURING AND COMPUTING COMPLEXES OF VIBRATION CONTROL AND MONITORING

P. Brancevich

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus, [branc@bsuir.by](mailto:branc@bsuir.by)

**Abstract:** The application of computer measuring and computing complexes of continuous vibration control, monitoring and automatic protection of complex mechanisms and units with rotational motion, registration and processing of long-term implementations of vibration signals is considered. Algorithms for processing long-term implementations of vibration signals are presented in order to determine information-significant parameters and characteristics for their further use in automated and automatic decision-making systems.

**Keywords:** vibration, signal, digital processing, parameter, characteristic, solution.