

УДК 621.317

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ И ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ МАШИН В ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.Т. ШНИТКО, А.В. МИКУЛОВИЧ, В.И. МИКУЛОВИЧ
(Белорусский государственный университет, Минск)

Описана разработанная портативная многоканальная система контроля состояния и диагностирования машинного оборудования в эксплуатации, относящаяся к третьему поколению приборов подобного назначения. Внедрение таких систем в практику обслуживания машин позволит повысить их эксплуатационную надежность, а также снизить затраты на ремонтно-профилактические работы.

Одним из направлений повышения эксплуатационной надежности и безопасности изделий машиностроения является контроль состояния их отдельных узлов и механизмов с целью раннего выявления и прогнозирования развития неисправностей и предупреждения аварийных состояний.

Внедрение методов диагностирования эксплуатации по состоянию в Республике Беларусь сдерживается отсутствием современного контрольно-диагностического оборудования и высокой стоимостью приборов аналогичного назначения ведущих зарубежных фирм. Поэтому в настоящее время актуальной задачей является разработка отечественных аппаратно-программных средств, пригодных для контроля и диагностирования технического состояния широкого класса машинного оборудования.

Среди многочисленных методов технической диагностики особое место принадлежит тем из них, которые основаны на использовании информации о параметрах процессов, сопровождающих работу машин и механизмов.

Практическая реализация данных методов связана с обработкой чрезвычайно больших объемов входных данных. Эффективное решение этой задачи может быть основано на использовании алгоритмов цифровой обработки выходных сигналов датчиков физических величин и процессов и больших возможностей современной вычислительной техники, в частности, портативных компьютеров типа «Notebook».

Применение таких компьютеров позволяет создавать многоканальные диагностические приборы и системы с развитым программным обеспечением, универсальные по назначению, с малыми габаритами и массой.

В продолжение ранее начатых работ [1] авторами разработана мобильная многоканальная система контроля и диагностики для регистрации и экспресс-анализа параметров вибрации и рабочего процесса машинного оборудования различного назначения. Система принимает сигналы от любого типа датчиков (пьезоэлектрические, температуры, давления, силы, напряжения, тока, микрофоны и т.п.) и имеет отдельный вход для фотоэлектрических или индукционных тахометрических датчиков для измерения скорости вращения, балансировки и проведения синхронного анализа.

На рис. 1 представлена структурная схема разработанной системы.

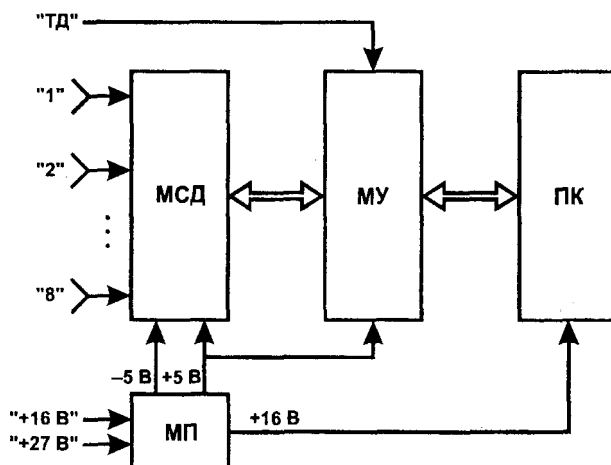


Рис. 1. Структурная схема многоканальной системы контроля состояния:
МСД - модуль сбора данных; МУ - модуль управления; МП - модуль питания;
ПК - портативный компьютер типа «Notebook» на основе процессора Pentium;
ТД - тахометрический датчик; «1», «2», ..., «8» - датчики вибрации, температуры и других параметров

Модуль сбора данных (МСД) предназначен для согласования выходов датчиков преобразуемых физических величин и процессов с входами последующих схем, дополнительного усиления сигналов, их предварительной фильтрации и преобразования в цифровую форму.

Модуль управления (МУ) организует работу МСД, преобразует последовательные цифровые данные, поступающие из МСД, в параллельный формат и передает их в портативный компьютер (ПК). Кроме того, МУ обеспечивает ввод выходного сигнала тахометрического датчика (ТД).

Портативный компьютер типа «Notebook» осуществляет сбор и первичную обработку поступающих сигналов, отображение результатов обработки на экране дисплея, а также упаковку и хранение входных сигналов и полученных результатов на накопителе на жестком магнитном диске для передачи на стационарный компьютер.

Модуль питания (МП) обеспечивает работу системы от сетевого блока питания ПК или его аккумуляторных батарей.

Модуль управления подключается к ПК через параллельный интерфейс, удовлетворяющий стандарту IEEE 1284 и работающий в режиме ECP, т.е. двунаправленного обмена данными с использованием FIFO-буферов и прямого доступа к памяти. Управляющие сигналы интерфейса генерируются аппаратно.

К этому же порту может быть подключен внешний накопитель на магнитооптическом диске (если он не входит в состав ПК), обеспечивающий обмен данными со стационарным компьютером.

Принцип работы системы основан на цифровой обработке выходных сигналов датчиков, установленных на отдельных узлах контролируемой машины в выбранных местах. Сигнал от тахометрического датчика обеспечивает синхронизацию работы системы с оборотами основного вала машины.

Программное обеспечение системы функционирует в среде операционной системы (ОС) «Windows 95/98/2000/XP» и позволяет экспортировать данные в систему Excel.

Разработанная система, выполненная на основе ПК типа «Notebook», работает в интерактивном режиме. При проведении начального диалога компьютер запрашивает данные, необходимые в последующем для протоколирования результатов контроля отдельных узлов контролируемой машины, а именно:

- дату и время проведения измерений;
- тип и номер контролируемого изделия;
- тип и чувствительность датчиков;
- место установки датчиков;
- номера каналов, к которым подключены выходы датчиков;
- отношение частоты выходного сигнала ТД к частоте вращения основного вала машины;
- частотный диапазон, в котором производится анализ входных сигналов;
- тип анализируемых характеристик и параметров этих сигналов;
- длину реализации входных сигналов, по которой производится оценка их параметров и характеристик;
- количество усреднений, которое производится при нахождении оценки характеристики для получения необходимой статистической устойчивости результатов;
- тип весовой функции при оценке спектральных характеристик входных сигналов.

Работа программы обработки сигналов, поступающих с соответствующих датчиков, инициируется командой с клавиатуры ПК. Непосредственно съём, например, вибрационных сигналов начинается в момент прохождения основным валом машины начального положения. Этим достигается фазовая привязка результатов измерения, необходимая для решения задач балансировки.

Разработанное базовое программное обеспечение, реализующее современные алгоритмы цифровой обработки сигналов, позволяет получать в частотном диапазоне от 0,7 Гц до 20 кГц следующий набор информативных параметров и функций:

- пиковое, среднее и среднеквадратическое значения входного сигнала или сигнала в выбранной полосе частот;
- гистограмму распределения;
- амплитуду и фазу гармонических составляющих, синхронных с оборотами основного вала машины;
- огибающую выделенного сигнала;
- амплитудный спектр с постоянным абсолютным разрешением;
- амплитудный спектр с постоянным относительным разрешением (6 %, 23 %, 70 %);
- спектр огибающий;
- спектр мощности;
- фазовый спектр;
- кепстр;
- корреляционную функцию;
- взаимные характеристики сигналов от двух каналов;
- взаимную спектральную плотность;
- взаимный фазовый спектр;
- функцию когерентности;

- передаточную функцию;
- взаимную корреляционную функцию.

Анализ входных сигналов может проводиться как на стационарных, так и на переходных режимах работы контролируемой машины. Оценивая отдельные параметры этих характеристик, а также анализируя их изменение в зависимости от режима работы или с течением времени, можно сделать заключение о текущем техническом состоянии контролируемого узла и прогнозировать его изменение в будущем.

Для оперативного контроля состояния отдельных узлов результаты измерения выводятся в графическом виде на дисплей ПК. При необходимости они могут быть сохранены в виде файлов на его НЖМД для последующей передачи на стационарный компьютер.

Обмен данными между системой и стационарным компьютером может производиться как непосредственно с использованием параллельного порта, так и при помощи магнитооптических дисков.

Используемая технология цифровой обработки сигналов позволяет простым наращиванием программного обеспечения с помощью одних и тех же аппаратурных средств неограниченно расширять возможности системы по реализации новых алгоритмов обработки входных сигналов, а также исключает потери полученной информации.

Получаемые параметры и характеристики позволяют обнаруживать и отслеживать развитие таких неисправностей, как:

- дефекты подшипников качения и скольжения;
- дефекты зубчатых передач и редукторов;
- динамические дефекты роторов (дисбаланс, несоосность, эксцентриситет, трещины и т.д.);
- дефекты ременных передач;
- дефекты энергетического оборудования;
- дефекты насосов и компрессоров.

При использовании специальной программы система позволяет осуществлять динамическую балансировку роторов и проводить прочностные испытания элементов конструкций машин.

Кроме того, в системе предусмотрен режим акустических измерений в соответствии с рекомендациями МЭК 61260.

Основные технические характеристики системы в базовом исполнении:

- число независимых измерительных каналов - 5, в том числе: ввода аналоговых сигналов - 4; ввода импульсных сигналов - 1;
- число датчиков, подключаемых к одному каналу - 2, в том числе: пьезоэлектрических - 1, с выходом по напряжению - 1.

Рабочий диапазон частот, Гц:

- по входу усилителя заряда $0,7 \dots 2 \cdot 10^4$;
- по входу усилителя напряжения $0 \dots 2 \cdot 10^4$.

Неравномерность в пределах рабочего диапазона частот – не более 0,3 дБ.

Диапазон входных сигналов:

- по заряду $\pm(0 \dots 1,25 \cdot 10^3)$ пКл;
- по напряжению:
 - для двухполярного сигнала $\pm(0 \dots 2,5)$ В;
 - для однополярного сигнала 0 ± 5 В.

Тип выхода датчика оборотов – токовый или «открытый коллектор».

Чувствительность усилителя заряда – 1 мВ/пК ± 1 %.

Коэффициент передачи входного усилителя – 0,5 В/В ± 1 %.

Коэффициент передачи усилителя с переменным коэффициентом усиления – 2^i В/В $\pm 0,2$ %, $i = 0, \dots, 4$.

Разрядность АЦП – 16 бит.

Отношение тактовой частоты АЦП к частоте дискретизации – 64.

Отношение частоты дискретизации к частоте среза цифрового фильтра нижних частот АЦП – 2,1552.

Входное сопротивление для датчиков с выходом по напряжению – не менее 30 кОм.

Потребляемая мощность – не более 60 Вт.

Габаритные размеры – 452×360×108 мм.

Масса – не более 8 кг.

Система обеспечивает также проведение порядкового анализа, хранение максимальных и минимальных значений спектра, сравнение спектров, осуществление арифметических преобразований над входными данными и получаемыми результатами, слежение (выделение) отдельной гармоник и отображение ее в трехмерном пространстве, например, при разбеге или выбеге контролируемой машины.

Разработанная система успешно эксплуатируется при техническом обслуживании энергетического оборудования и изделий авиационной техники.

На рис. 3 и 4 в качестве примера приведены спектры вибрации одного из вертолетов, имеющего высокий уровень вибрации и нормальную соконусность вращения лопастей несущего винта. Сущест-

вующими методами контроля выявить причину неисправности не удалось. Сравнительный анализ спектров вибрации показал, что несущий винт исправен, а высокий уровень низкочастотной вибрации обусловлен неисправностью рулевого винта. После рекомендованной проверки был выявлен дефект сборки хвостового редуктора.

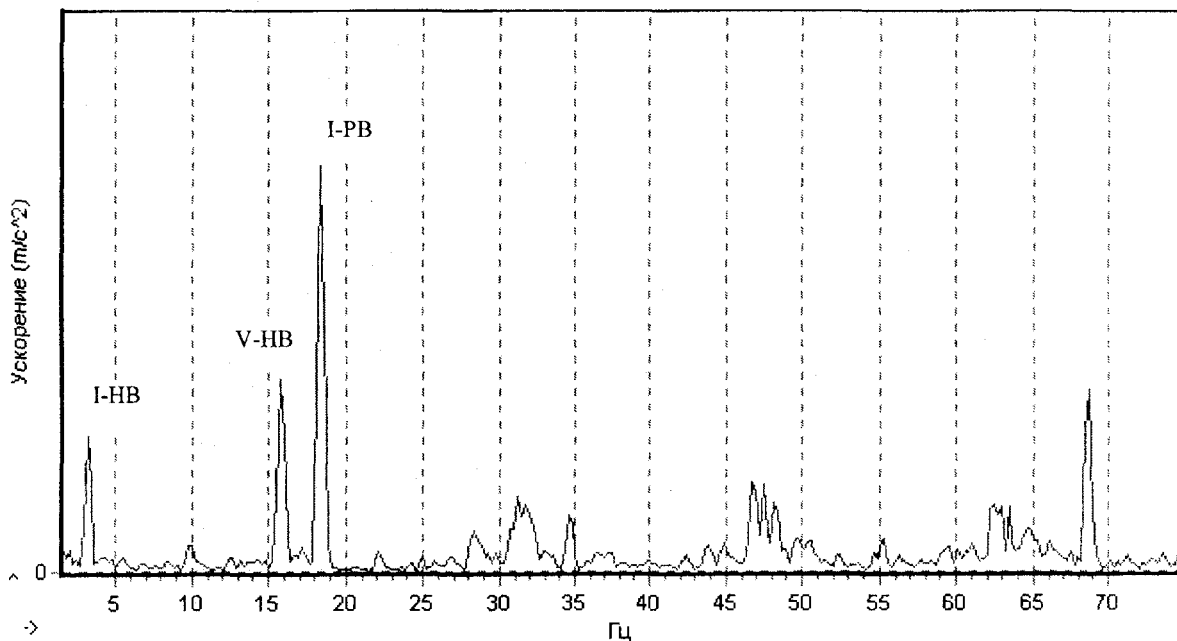


Рис. 3. Спектр вибрации вертолета при неисправном редукторе рулевого винта:
 I-НВ - первая гармоника несущего винта; V-НВ - пятая гармоника несущего винта;
 I-РВ - первая гармоника рулевого винта

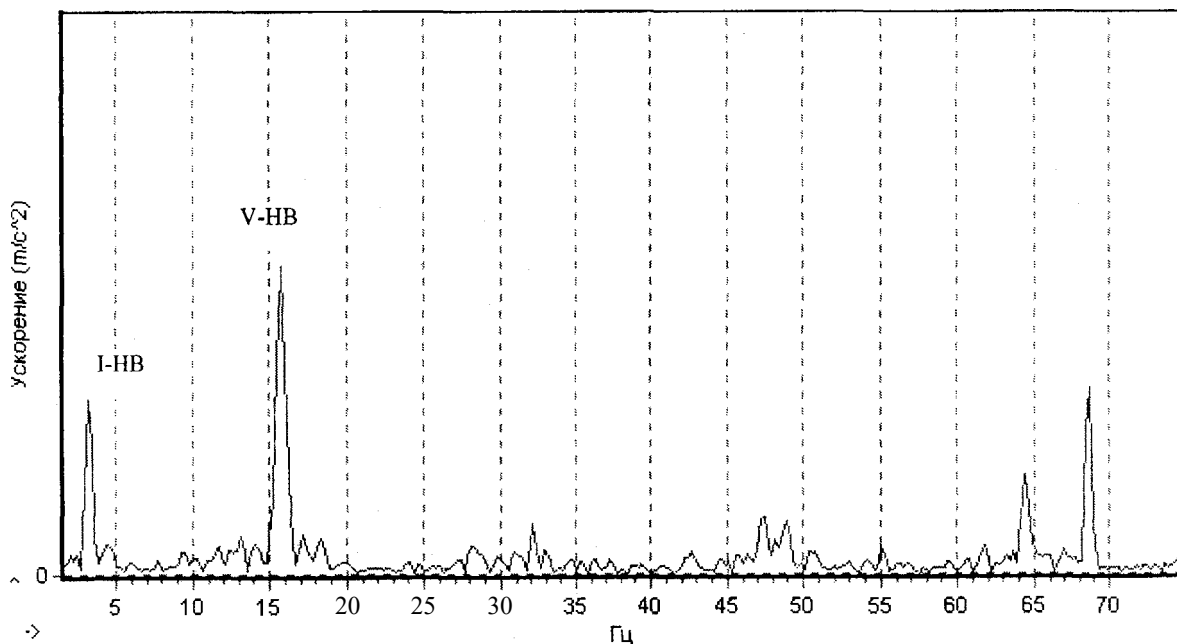


Рис. 4. Спектр вибрации исправного вертолета

ЛИТЕРАТУРА

1. Шнитко В.Т., Микулович В.И., Микулович А.В. Аппаратно-программный комплекс для измерения шума, вибрации, контроля и диагностики // Современные методы цифровой обработки сигналов в системах измерения, контроля, диагностики и управления: Материалы II междунар. науч.-техн. конф., 24 - 27 июня 1998 г., Минск. - Мн.: БГУ, 1999. - С. 439-442.