

М. С. Басманов, Е. А. Деулин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ ДИАГНОСТИКИ И ПРЕДСКАЗАНИЯ ОТКАЗОВ ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНЫХ НАСОСОВ

Теоретически обоснованы требования к микроконтроллерам, пригодным для управления многофункциональным устройством диагностики и предсказания отказов турбомолекулярных насосов ответственных объектов ядерной техники, электронного и вакуумного приборостроения, оборудования для физических исследований, разрабатываемым в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

E-mail: basmanov@inbox.ru; deulin@bmstu.ru

Ключевые слова: диагностика, предсказание отказа, подшипниковый узел, турбомолекулярный насос, микроконтроллерный блок, система управления, надежность, автоматизация.

Вопросам прогнозирования отказов ответственных подшипниковых узлов посвящено много работ [например, 1–5]. В работах [6, 7] показано, что вибрационный и энергетический подходы к диагностике шарикоподшипников являются взаимодополняющими и служат своеобразным фундаментом для создания универсальной системы диагностики турбомолекулярных насосов (ТМН). В настоящей статье рассмотрена реализация этих двух подходов на базе современных микроконтроллеров.

Алгоритм работы автоматической системы диагностики. На рис. 1 приведен алгоритм работы устройства диагностики и введены следующие обозначения: A_{Σ} – суммарная работа, затрачиваемая на износ сепаратора; $W_{\text{калиб}} = f_{\text{калиб}}(P)$ – калибровочная характеристика (мощность, потребляемая двигателем, впускное давление ТМН);

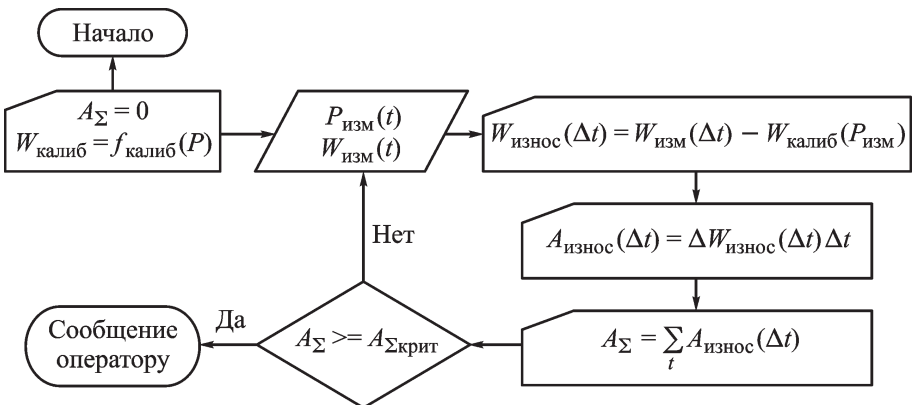


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения работы, затрачиваемой шариками на износ сепаратора

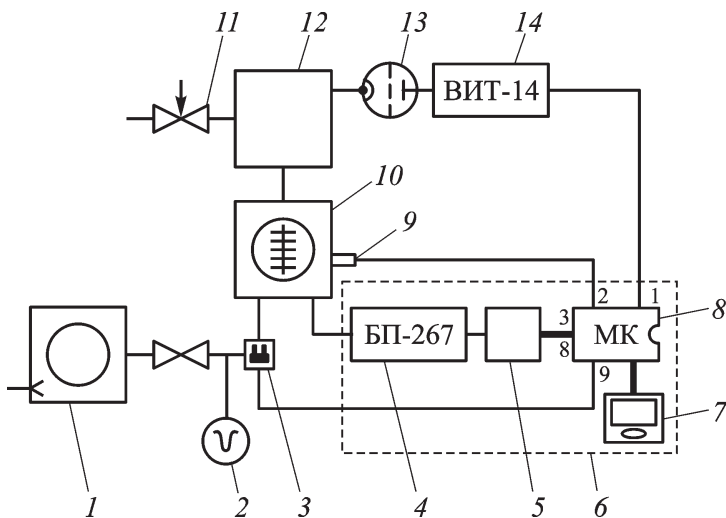


Рис. 2. Схема экспериментального стенда:

1 – форвакуумный насос 2НВР-5ДМ; 2 – датчик вакуума ПМТ-4М; 3 – оптический датчик оборотов ротора ТМН; 4 – блок питания БП-267 ТМН; 5 – датчик мощности, потребляемой ТМН; 6 – электронный блок управления и диагностики ТМН; 7 – пользовательский интерфейс микроконтроллера; 8 – управляющий микроконтроллер; 9 – датчик вибрации (пьезоэлектрический акселерометр АР-31); 10 – ТМН 01АБ1500-004; 11 – вакуумный натекатель; 12 – вакуумная камера; 13 – датчик впускного давления ПМИ-27; 14 – вакуумметр ВИТ-14

$P_{изм}(t)$, $W_{изм}(t)$ – текущие значения впускного давления и мощности, потребляемой двигателем; $W_{износ}(\Delta t)$ – значение доли мощности, затраченной двигателем ТМН на преодоление момента трения в подшипниках за время Δt ; $W_{калиб}(P_{изм})$ – значение мощности, полученное при помощи калибровочной характеристики для текущего впускного давления $P_{изм}$; $A_{износ}(\Delta t)$ – приведенное значение механической работы, затраченной шариками на износ сепаратора в подшипнике за время Δt ; $A_{\Sigma крит}$ – заранее определенное максимально допустимое значение работы по износу сепаратора.

На протяжении всего периода эксплуатации ТМН 10 (рис. 2) микроконтроллерным устройством 8 выполнялся автоматизированный расчет работы, затраченной на износ шарикоподшипникового узла подвески ротора насоса. Для этого в микроконтроллерный блок разработчикам необходимо ввести следующие данные: таблицу предварительной калибровки насоса по параметрам “мощность, потребляемая двигателем”–“впускное давление” (таблица занимает до 5 Кбайт памяти микроконтроллера); сигнал датчика мощности 5, потребляемой ТМН (в зависимости от выбранного способа измерения параметра используются от 1 до 6 аналоговых входов микроконтроллера); сигнал датчика впускного давления насоса 13 (используется один аналоговый вход микроконтроллера).

Программное обеспечение для выполнения автоматизированного расчета суммарного значения работы по износу подшипника, содержит программу расчета интеграла

$$A_{\Sigma} = \int_0^t (W_{\text{ТМН}} - W_{\text{пот}} - W_P) dt,$$

где A_{Σ} — суммарная работа по износу шарикоподшипника; $W_{\text{ТМН}}$ — текущая мощность двигателя насоса; $W_{\text{пот}}$ — мощность, затрачиваемая на потери; W_P — мощность, затрачиваемая на преодоление газовой нагрузки насоса; t — время отработки насоса.

Для реализации такой программы потребуется не более 10 Кбайт постоянной памяти микроконтроллера и не более 50 байт оперативной памяти.

Одновременно с непрерывным выполнением расчета суммарной работы по износу устройство периодически анализирует вибрационные спектры (рис. 3), получаемые от датчика вибрации (9, см. рис. 2), закрепленного на корпусе ТМН. Период регистрации спектров зависит от времени наработки насоса, а время, затрачиваемое на построение и анализ одного спектра, не должно превышать 1 с. Таким образом, для реализации вибрационного метода диагностики ТМН в микроконтрол-

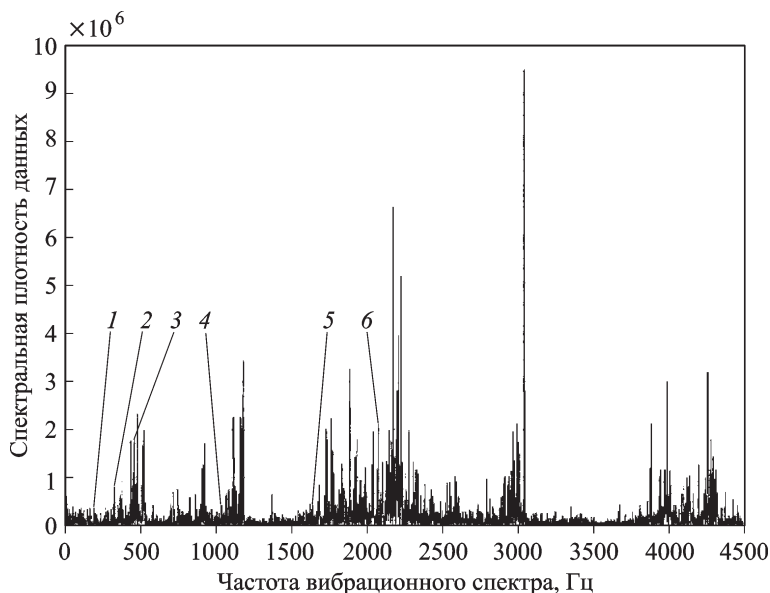


Рис. 3. Пример вибрационного спектра ТМН:

1 — вращение сепаратора (международное обозначение FTF); 2 — вращение ротора насоса; 3 — повреждение обоймы подшипника; 4 — контактирование шариков с дорожками качения (международное обозначение BSF); 5 и 6 — перекачивание шариков по внешнему и внутреннему кольцам (международное обозначение BPFO и BPF1)

лнерный блок необходимо синхронно ввести данные, полученные при помощи сигналов с датчика вибрации (используется один аналоговый вход микроконтроллера) и датчика частоты вращения ротора насоса (3, см. рис. 2, используется один цифровой вход микроконтроллера).

Программное обеспечение для реализации вибрационного метода должно выполнять преобразование Фурье вибрационного сигнала и анализировать полученный спектр. Для этого микроконтроллер определяет значения частот контактирования, характерных для диагностируемого типа насоса, используя сигнал частоты вращения ротора ТМН. Далее управляющее устройство сравнивает результаты программного анализа значений амплитуд полученного вибрационного спектра с критическими значениями из введенной ранее статистической базы отказов ТМН. Для реализации такой программы на базе современных микроконтроллеров потребуется не более 10 Кбайт постоянной памяти микроконтроллера и не более 100 байт оперативной памяти микроконтроллера. Причем тактовая частота микроконтроллера должна быть не менее 40 МГц, а разрядность не менее 8 бит.

Основные требования к микроконтроллеру, применяемому для диагностики ТМН. Аппаратная часть устройства диагностики разработана на базе персонального компьютера. Преимущества такой реализации следующие: универсальность программного обеспечения, доступный интерфейс, высокое быстродействие выполнения алгоритмических задач, широкий выбор периферийных устройств и др. К недостаткам такой реализации можно отнести: высокие стоимость и уровень энергопотребления, низкую мобильность, сложность интеграции с управляющими блоками производственных установок и пр.

Современное технологическое оборудование предъявляет ряд требований к составляющим блокам, которые возможно реализовать только с помощью программируемых микроконтроллеров. Кроме того, использование микроконтроллеров для некоторых производственных задач экономически выгодно по сравнению с персональными компьютерами. В частности, использование микроконтроллеров для диагностики ТМН позволяет значительно уменьшить расходы на аппаратную часть (оптимизировать ресурсы под конкретные задачи), интегрировать блоки питания насоса и автоматической диагностики ТМН в многофункциональное устройство диагностики и предсказания отказов, внедрять разработанные научные методики в смежные отрасли промышленности.

Подводя результаты исследований, можно заключить, что для реализации алгоритма автоматической диагностики ТМН микроконтроллер, используемый в устройстве диагностики, должен иметь следующие параметры.

Тактовая частота, МГц	40
Разрядность, бит	8
Частота дискретизации АЦП на канал, кГц	10
Число, шт.:	
аналоговых входов	9
цифровых входов	1
цифровых выходов	8
Объем ПЗУ, Кбайт	32
ОЗУ, байт	256
Интерфейс для синхронизации с ПК	USB/COM

Проведенный авторами обзор выявил ряд устройств, отвечающих указанным требованиям: микроконтроллеры линейки Attiny фирмы Atmel, микроконтроллеры линейки MB90 фирмы Fujitsu, микроконтроллеры линейки MSP430 фирмы Texas Inc. и др. Основными критериями отбора микроконтроллера помимо соответствия указанным минимальным требованиям были стоимость и простота программирования. Так, для реализации системы диагностики авторами выбраны микроконтроллеры фирм Atmel (AT89C51AC2) и Microchip (PIC16F690).

Выводы. 1. Анализ требований к многофункциональному устройству диагностики ТМН позволил авторам выбрать на существующем рынке электронных приборов ряд микроконтроллеров, отвечающих требованиям проектируемой системы.

2. Создана база для разработки многофункционального устройства диагностики ТМН, использующая микроконтроллер в качестве управляющего электронного вычислительного устройства, что делает предлагаемое устройство конкурентоспособным на современном рынке вакуумного оборудования.

3. Описанная методика может быть расширена на другие виды ТМН данного класса балансировки.

Работа выполнена в соответствии с государственным контрактом на поисковые научно-исследовательские работы для государственных нужд П1320 от 1 сентября 2009 г. в рамках реализации федеральной целевой программы “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K i n s k y, S t u r m A. Diagnostics of rolling-element bearing condition by means of vibration monitoring under operation conditions // Measurement. – 1984. – P. 58–62.
2. В и б р а ц и я подшипников / Под ред. К.М. Рагульскаса. – Л.: Машиностроение, 1985. – 119 с.

3. Генкин М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 282 с.
4. Явленский К. И., Явленский А. К. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем. – Л.: Машиностроение, 1983. – 184 с.
5. Michael S. Johnson Jr., P. E. Vibration tests for bearing wear *Ashrae Journal*. – October 2000. – P. 52–56.
6. Басманов М. С. Система диагностики турбомолекулярных вакуумных насосов (ТМН) с использованием энергетического параметра износа // Студенческий вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2004. – С. 37–42.
7. Деулин Е. А., Басманов М. С. Система вибрационной диагностики турбомолекулярных вакуумных насосов (ТМН) // Контроль. Диагностика. – 2004. – № 7. – С. 45–48.

Статья поступила в редакцию 26.02.2010

Михаил Сергеевич Басманов родился в 1980 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2003 г. Канд. техн. наук, ведущий инженер отдела грантов Управления научных исследований МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 15 научных работ в области автоматизации технологического оборудования, технической диагностики, вакуумных систем и трибологии.

M.S. Basmanov (b. 1980) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2003. Ph. D. (Eng.), leading engineer of department for grants of the Administration for Research of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 15 publications, in the field of automation of production equipment, technical diagnostics, vacuum systems and tribology.

Евгений Алексеевич Деулин родился в 1938 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1962 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры "Электронные технологии в машиностроении" МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 50 научных работ, 10 патентов и авторских свидетельств в области вакуумных систем и механизмов, трибологии, диагностики вакуумных механизмов, процессов атомно-молекулярного взаимодействия материалов и наводороживания при трении.

Ye.A. Deulin (b. 1938) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1962. D. Sc. (Eng.), professor of "Electronic Technologies in Mechanical Engineering" department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 50 publications, 10 patents and author's certificates in the field of vacuum systems and mechanisms, tribology, diagnostics of vacuum mechanisms, processes of atomic and molecular interaction of materials and hydrogenization under friction.