

Н.Ф. Архипкин, А.А. Редюшев, А.Н. Цыпленков
ООО "ГлобалТест" (Саров, Нижегородская обл., Россия)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ДАТЧИКОВ СО ВСТРОЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКОЙ

Дано рекомендації з підключення до апаратури, що реєструє, віброперетворювачів з убудованим передусилувачем. Розглянуті основні моменти при монтажі з'єднувальних кабелів, на які необхідно звертати увагу при установці віброперетворювача на об'єкт контролю.

Даны рекомендации по подключению к регистрирующей аппаратуре вибропреобразователей со встроенным предусилителем. Рассмотрены основные моменты при монтаже соединительных кабелей, на которые необходимо обращать внимание при установке вибропреобразователя на объект контроля.

Here are presented the connecting recommendations of vibration transducers with built-in electronics to recording equipment. Examined the basic aspects while vibration transducer mounting on a testing object.

Основной частью систем технического диагностирования являются датчики, входящие в состав измерительных каналов со множеством обратных связей. Разработчикам систем, для получения достоверных результатов измерения параметров объекта контроля с требуемой погрешностью, необходимо решить следующие технические вопросы:

- согласование форматов (по амплитуде, частоте, фазе или цифровому коду) выходного сигнала датчика с входными характеристиками (нагрузкой) регистрирующей аппаратуры;
- выбор линии связи для передачи сигналов от датчика к регистрирующей аппаратуре;
- выбор длины и направления монтажа линии связи;
- минимизация шумов вносимых в соединительную схему, обусловленных электростатическими и электромагнитными наводками от источников питания, радиостанций, механических ключей, также всплесками напряжения и тока, возникающих из-за процессов переключений в реактивных цепях;
- исключение дополнительных паразитных сигналов, связанных с неправильным подсоединением проводов заземления.

Схемы измерительных цепей пассивных датчиков (без встроенных электронных схем) и их анализ достаточно подробно освещены в специальной справочной литературе по датчикам [1,2].

Основным элементом измерительных цепей пассивных датчиков являются предусилители. Главной задачей предусилителей является пре-

образование высокого входного импеданса датчиков в более низкий импеданс, допускающий непосредственное соединение датчиков с относительно низкоимпедансной измерительной, анализирующей или регистрирующей аппаратурой.

К другим задачам предусилителей относятся:

- согласование параметров, отображающих исследуемые механические величины с параметрами сигналов (в частности, чувствительностью) используемой аппаратуры;
- интегрирование пропорциональных ускорению сигналов пьезоэлектрических акселерометров и, следовательно, получение сигналов, пропорциональных скорости или перемещению механических колебаний;
- сигнализация о перегрузке по входу и выходу;
- фильтрация обрабатываемых сигналов и, следовательно, исключение ненужных или нежелательных составляющих этих сигналов.

Перечисленные выше задачи решают, например, усилители заряда AP5000, AQ02, AQ05, AQ07; усилители напряжения GT200A; измерительные усилители напряжения и заряда AP5100, AP5200 [3].

Вместе с тем все большее применение в измерительных системах находят активные датчики со встроенной электронной схемой. Это связано с развитием современной базы электронных компонентов электрических схем, позволяющих реализовать предусилители в корпусе датчика. Предусилитель в корпусе датчика решает те же

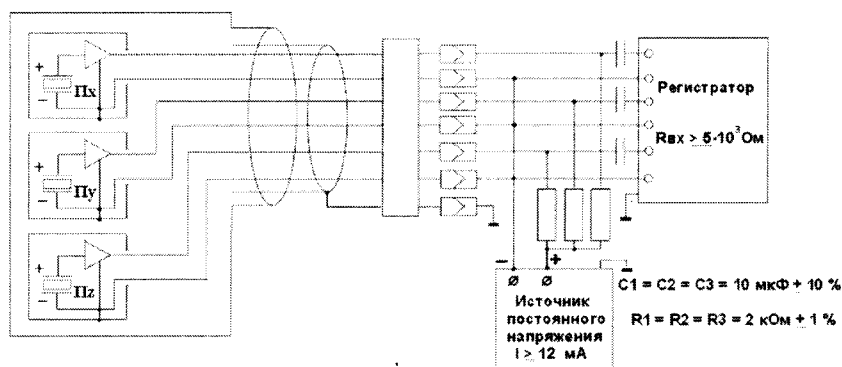


Рисунок 1 – Схема подключения к регистрирующей аппаратуре промышленного высокочувствительного трехкомпонентного вибропреобразователя AP71 со встроенным предусилителем

задачи, что и предусилитель в измерительных цепях пассивных датчиков, позволяя при этом исключить:

- емкость соединительного кабеля, т.е. емкостную нагрузку по входу предусилителя, оказывающую влияние на коэффициент усиления, соответственно, коэффициент преобразования измерительного тракта "датчик-предусилитель";
- токи утечки и паразитные напряжения, возникающие вследствие трибоэлектрического эффекта в кабеле, приводящие к появлению погрешности, пропорциональной выходному импедансу датчика.

Использование в измерительных цепях активных датчиков со встроенным предусилителем имеет свои особенности, связанные с организацией питания, передачи и регистрации сигнала встроенного в датчик предусилителя.

На рисунке 1 приведена схема подключения к регистрирующей аппаратуре промышленного высокочувствительного трехкомпонентного вибропреобразователя AP71 со встроенным предусилителем.

Особенностью предусилителя вибропреобразователя AP71 является то, что он [4] разделен на две части, одна из которых расположена в корпусе вибропреобразователя и содержит усилительный каскад, а другая часть предусилителя содержит согласующий резистор $2 \text{ кОм} \pm 1 \%$ и разделительный конденсатор емкостью $\geq 10 \text{ мкФ} \times 20 \text{ В}$, при этом обе части соединены между собой двухпроводной линией связи максимальной длины до 100 м. Отличительными особенностями вибропреобразователя являются: электрическая изоляция пьезоэлемента и встроенного предусилителя от корпуса, низкая чувствительность к электромагнитным полям, низкий уровень собственных шумов.

К ограничению в применении следует отнести:

- узкий динамический диапазон измеряемого

ускорения и ограниченность работы предусилителя только при фиксированных значениях напряжения и тока источника питания;

- необходимость переходной коробки при использовании стандартной регистрирующей аппаратуры.

Отмеченное у вибропреобразователя AP71 ограничение к применению отсутствует в вибропреобразователях со встроенным предусилителем, электропитание которого производится постоянным током $2...20 \text{ мА}$ при напряжении $15...30 \text{ В}$ специальным токостабилизирующим диодом, например, серии J500 (схема и вольтамперная характеристика последнего приведены на рисунке 2) производства фирмы "Semiconductors" [5]. При этом электропитание и передача сигнала осуществляется по двухпроводной линии связи.

Режим электропитания встроенных предусилителей постоянным током специальным токостабилизирующим диодом реализован фирмами-производителями вибропреобразователей типа Delta Tron "Bruel&Kjaer" [6], Isotron "Endevco" [7], ICP "PCB Piezoelectronics, Inc" [8], серии SA и SV "Vibro-Metrics, NC" [9], и в большинстве вибропреобразователей производства ООО "ГлобалТест" (Россия) [3].

Схема подключения вибропреобразователей со встроенным предусилителем с электропита-

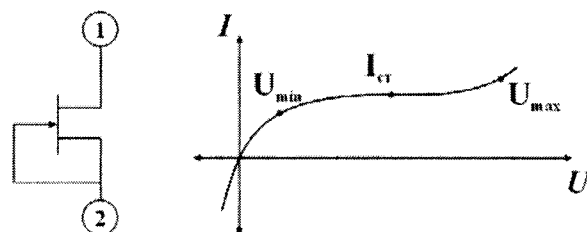


Рисунок 2 – Схема (слева) и вольтамперная характеристика (справа) токостабилизирующего диода: $U_{\max}=50 \text{ В}$, $U_{\min}=15 \text{ В}$, стабилизированный ток $I_{\text{ст}}=\pm 20 \%$

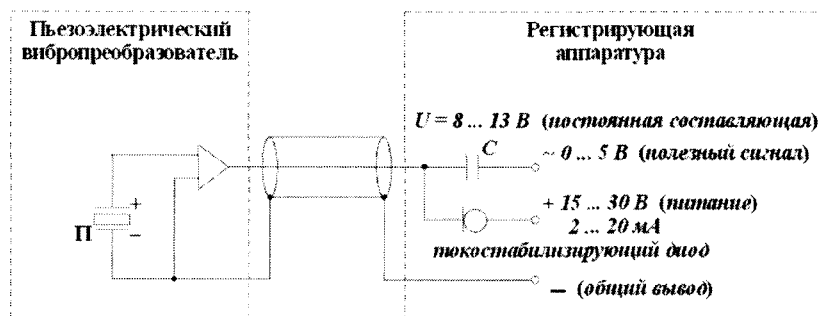


Рисунок 3 – Схема подключения вибропреобразователей со встроенным предусилителем с электропитанием, постоянным токостабилизирующим диодом

нием постоянным током специальным токостабилизирующим диодом к измерительной, анализирующей или регистрирующей аппаратуре приведена на рисунке 3.

Предусилитель [10] вибропреобразователя состоит из двух частей, одна из которых размещена в корпусе пьезоэлектрического вибропреобразователя и включает каскад усиления, а другая часть расположена вне корпуса и включает разделительный конденсатор емкостью ≥ 10 мкФ $\times 35$ В для отделения полезного сигнала от постоянной составляющей напряжения 8...13 В и специального токостабилизирующего диода.

Расширение динамического диапазона достигается тем, что в усилительном каскаде предусилителя применяется динамическая нагрузка, в качестве которой использованы токостабилизирующий диод и дополнительный резистивный делитель, обеспечивающий оптимальный режим работы усилительного каскада при заданном коэффициенте усиления.

Работа предусилителя в широком диапазоне напряжений и токов источника питания достигается тем, что во второй части предусилителя применен специальный токостабилизирующий диод, включаемый через линию связи в исток полевого транзистора с изолированным затвором первой части предусилителя.

Величина тока питания зависит от длины соединительного кабеля (емкостной нагрузки) и условий эксплуатации вибропреобразователя. Для работы вибропреобразователя в заданном амплитудном диапазоне устройство питания должно обеспечивать постоянный ток питания, величина которого определяется зависимостью:

$$I_{\Pi} \geq 2 \cdot \pi \cdot U \cdot f \cdot C_0 \cdot l,$$

где U – размах напряжения сигнала на выходе, В; f – максимальное значение частоты в диапазоне рабочих частот, Гц; C_0 – емкость погонного метра соединительного кабеля, пФ/м; l – длина соединительного кабеля, м.

Например, при размахе сигнала напряжения $U=10$ В, в диапазоне частот до 10 кГц, емкости погонного метра кабеля $C_0=100$ пФ/м и длине $l=100$ м, ток питания I_{Π} должен быть не менее 6 мА.

Для работы с вибропреобразователями со встроенным предусилителем с электропитанием постоянным током специальным токостабилизирующим диодом производятся измерительные усилители AP5100, AP5200 [3], обеспечивающие на входе ток 3,6 мА и напряжение +24 В.

Если в регистрирующей аппаратуре отсутствует устройство питания, отвечающее выше перечисленным требованиям, подключение вибропреобразователей к регистрирующей аппаратуре следует производить через блок питания AS01, AS07 или переходные коробки AG01 (AG01-3), AG02 (AG02-3) [3]. Применение переходных коробок AG02 (AG02-3) снижает влияние переходных процессов при переключении каналов на результат измерения в низкочастотной области.

В промышленных вибропреобразователях AP35T, AP85T, преобразователях виброскорости AV02, AV03 [3] выходным сигналом является ток промышленного стандарта 4...20 мА. Схема подключения вибропреобразователей AP35T, AP85T и преобразователей виброскорости AV02, AV03 к контроллеру приведена на рисунке 4.

В схеме (рисунок 4) формируется токовая петля, состоящая из датчика, источника питания G1 и сопротивления нагрузки, включенного последовательно с ним. При изменении сигнала датчика меняется и ток в диапазоне 4...20 мА. Тот же самый ток, несущий информацию, используется для питания электронной схемы датчика. Поскольку минимальный ток в цепи равен 4 мА, его хватает для поддержания работы электронной схемы датчика. Ток, текущий в контуре, приводит к падению напряжения при сопротивлении нагрузки $R_{нагр}$. Это падение напряжения является информационным сигналом, используемым для дальнейшей обработки. Достоинство двухпроводной передачи – независимость вели-

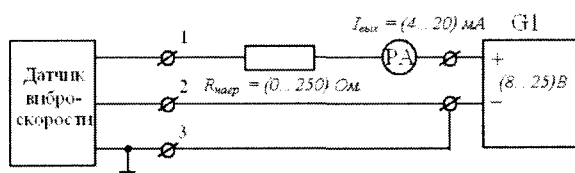


Рисунок 4 – Схема подключения вибропреобразователей AP35T, AP85T и преобразователей виброскорости AV02, AV03 с токовым выходом к контроллеру

чины тока от сопротивления соединительных проводов, а следовательно, и от длины линии передачи (очевидно, что это утверждение справедливо только в определенных пределах).

В системах технического диагностирования, использующих метод акустической эмиссии [11], применяются преобразователи акустической эмиссии, в том числе, преобразователи акустической эмиссии со встроенным усилителем, например, GT200U, GT250, GT350 [3]. Основными областями применения метода акустической эмиссии с использованием пассивного ультразвука являются: испытания сосудов, работающих под давлением, диагностика газопроводов, нефтеналивных цистерн, контейнеров для перевозки особо опасных грузов, режущего инструмента и дорогостоящего оборудования.

Данным методом проводятся исследования усталостной прочности разнообразных материалов, определяются координаты зарождающихся дефектов и т.д.

Схема подключения преобразователей акустической эмиссии GT200U, GT250, GT350 к регистрирующей аппаратуре приведена на рисунке 5.

Преобразованный пьезоэлектрическим преобразователем ПЭП электрический сигнал энергии упругих механических волн, распространяющихся от мест зарождения и развития дефекта, усиливается предусилителем ПУ и передается по двухпроводной линии связи (согласованный радиочастотный кабель) через переходную коробку AG09 (AG09-01) в регистрирующую

аппаратуру.

Особенностью приведенной на рисунке 5 схемы подключения является передача усиленных сигналов и напряжения питания по двухпроводной линии связи. Это достигается использованием в корпусе преобразователя и переходной коробки AG09 (AG09-01) развязывающих цепей L_1 , C_1 и L_2 , C_2 , соответственно. Предварительный усилитель ПУ обеспечивает малый уровень собственных шумов, высокое входное и низкое выходное сопротивления, стабильное значение коэффициента усиления в полосе рабочих частот, малые габариты и потребляемую мощность, обеспечение связи по радиочастотному коаксиальному кабелю.

Источниками серьезных погрешностей в разрабатываемых системах технического диагностирования состояния объекта контроля могут быть шумы, вносимые в схему подключения датчиков к регистрирующей аппаратуре, обусловленные электростатическими и электромагнитными наводками от источников питания, радиостанций, механических ключей, а также с всплесками напряжения и тока, возникающих из-за процессов переключения в реактивных цепях.

Помехи, вызванные электрическими полями, могут быть значительно уменьшены при помощи соответствующего экранирования датчика и соединительных кабелей:

– При использовании экранированных проводов их экранировка должна быть подсоединена к точке с опорным потенциалом только со стороны источника сигнала (датчика).

– Количество независимых экранов, используемых в системе сбора данных, должно быть равно числу измеряемых сигналов. Каждая сигнальная линия должна иметь свой собственный экран. Экраны разных линий не должны контактировать друг с другом, если только они не используют общий опорный потенциал (сигнальную "землю"). В этом случае все соединения следует выполнять отдельными проводами, подсоединенными к каждому экрану только в одной

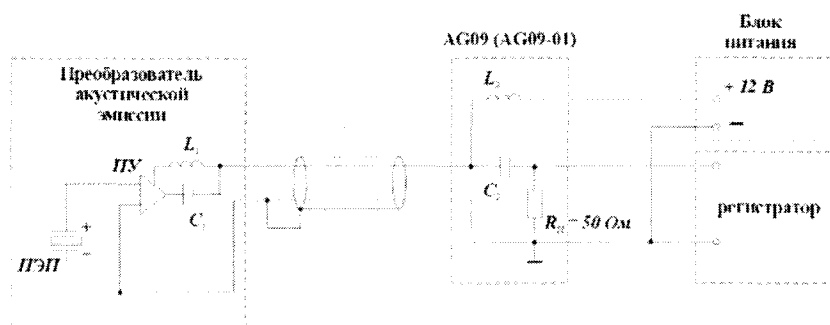


Рисунок 5 – Схема подключения к регистрирующей аппаратуре преобразователей акустической эмиссии GT200U, GT250, GT350

точке.

– Экран следует заземлять только в одной точке. Экранированный кабель никогда нельзя заземлять с двух сторон, поскольку разность потенциалов между двумя точками заземления может привести к возникновению тока в экране, который, используя магнитную связь, может индуцировать паразитное напряжение на центральный проводник.

– Если датчик размещен в экранированном корпусе, а данные передаются через экранированные кабели, их экранировка должна быть подсоединена к корпусу. Полезный практический прием – использование внутри экрана отдельного проводника с опорным потенциалом ("землей"). Экран нельзя использовать больше ни для какой другой цели, кроме как для защиты схем от электрических помех.

– Нельзя подавать на экран потенциал, отличный от опорного – напряжение с экрана передается на центральный проводник через емкость кабеля.

– Для уменьшения индуктивности подсоединения экрана к земле надо вести короткими проводами. Это особенно важно при одновременной передаче аналоговых и цифровых сигналов.

Помехи от электростатических и электрических полей могут быть значительно снижены при применении соответствующих экранов. Гораздо сложнее защищаться от магнитных полей, так как они проникают внутрь проводящих материалов. Поскольку экранирование от магнитных полей всегда очень сложная задача, при работе на низких частотах всегда надо стремиться: снижать магнитные поля; минимизировать площадь магнитного контура, особенно со стороны принимающих устройств; выбирать оптимальную геометрию проводников.

Внутри любой схемы подключения датчиков со встроенным предусилителем существуют источники помех, которые создают серьезные проблемы при работе с малыми сигналами. Обычно здесь играют роль шины питания и заземления.

Для исключения сигналов помехи, обусловленных протекающими через шины заземления объектов контроля и регистрирующей аппаратуры паразитными токами, необходимо особое внимание уделять заземлению кабеля в зависимости от схемы подключения датчика к регистрирующей аппаратуре.

Паразитный контур с замыканием через шину заземления возникает когда общая шина "датчик-регистрирующая аппаратура" заземлена в двух местах с различными электрическими потенциалами (рисунок 6).

В условиях возможного возникновения паразитных контуров рекомендуется применять датчики с внешней электрической изоляцией корпуса, например, AP2030 или использовать изолирующие шпильки АН1005, АН1006, АН1010 [3].

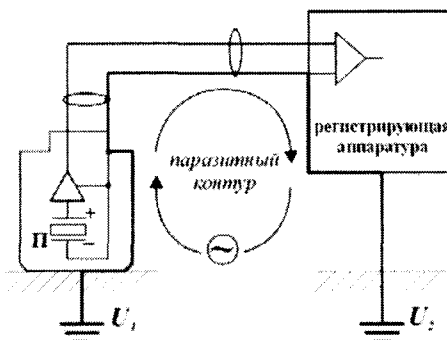


Рисунок 6 – Паразитный контур в результате неправильного заземления

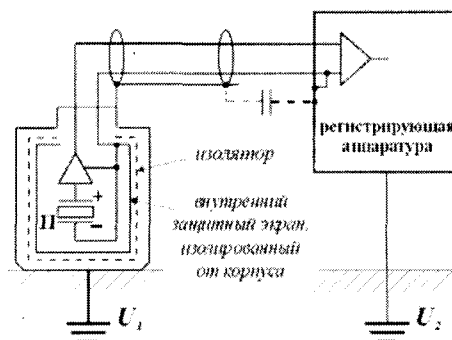


Рисунок 7 – Многопроводная схема подключения с защитным экраном

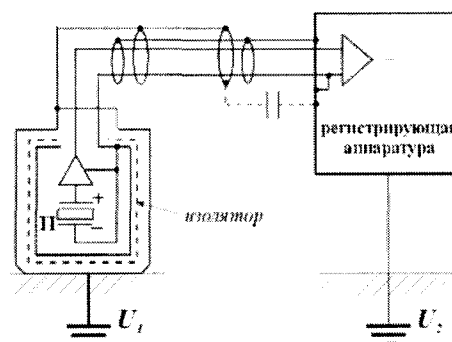


Рисунок 8 – Многопроводная схема подключения с двумя защитными экранами

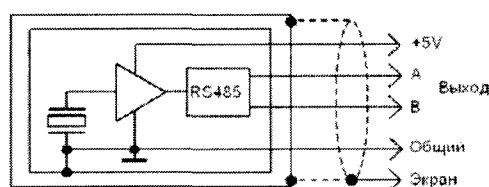


Рисунок 9 – Электрическая схема вибропреобразователя AP35D с цифровым выходом RS-485

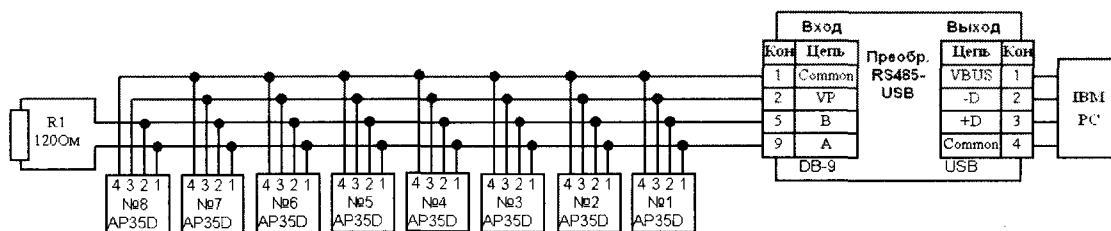


Рисунок 10 – Схема подключения вибропреобразователя AP35D с цифровым выходом RS-485

В датчиках с чувствительным элементом и встроенным усилителем, электрически изолированными от корпуса, возникновение паразитных контуров не происходит, например, в датчиках AP28B, AP28И, AP35 и AP36 (без металлорукава), AP85-01, AP91 [3]. В схеме подключения этих датчиков используется 2-проводный соединительный кабель с экраном. Экран следует заземлять лишь в одном месте, обычно на корпусе датчика. К уменьшению высокочастотных помех приводит также установка между экраном и регистрирующей аппаратурой конденсатора емкостью 0,01 мкФ × 200 В (рисунок 7).

В условиях воздействия электромагнитных помех высокого уровня (например, от радиопередатчиков, электрического разряда, искрения) целесообразно использовать датчики с металлорукавом в качестве второго наружного защитного экрана, например AP35, AP36, AP85 [3]. Наружный экран, электрически изолированный от наружного, соединен с корпусом регистрирующей аппаратуры.

Аналогично схеме подключения датчика с одним защитным экраном рекомендуется устанавливать конденсатор емкостью 0,01 мкФ × 200 В между регистрирующей аппаратурой и наружным экраном (рисунок 8).

Перспективным направлением разработки систем технического диагностирования объектов контроля является использование датчиков с цифровым выходом, например, вибропреобразователь AP35D с цифровым выходом RS-485 [3]. Передача данных в цифровом коде имеет ряд достоинств, самым главным из них является высокая помехозащищенность. На рисунках 9 и 10 приведены электрическая схема и схема подключения вибропреобразователя AP35D.

Выводы

Практические рекомендации данной статьи по подключению датчиков к регистрирующей аппаратуре, выбору типа, длины и направления

монтажа линий связи, минимизации шумов вносимых в соединительную схему, подключению проводов заземления, призваны помочь разработчикам систем технического диагностирования в получении достоверных результатов измерения параметров объекта контроля.

Вместе с тем рабочие характеристики каждого датчика можно оценить только относительно конкретной системы сбора данных и условий применения: температуры, влажности, давления, характера и интенсивности вносимых помех. Наиболее перспективным направлением разработки систем диагностики состояния оборудования представляется применение датчиков с цифровым выходом.

1. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник. / Под ред. Е.Л. Свинцова. – М.: Техносфера, 2006. – 588 с.
2. Шаронов В.М., Мусиенко М.П., Шаронова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. – М.: Техносфера, 2006. – 628 с.
3. Каталог фирмы ООО "ГлобалТест", 2007. – 96 с.
4. Патент на изобретение №2097772, Кл.МКИ G01 H15/09, Н.Ф.Архипкин, А.А.Кирпичев, А.А.Редюшев, Опубл. 27.11.97.
5. Каталог фирмы "Semiconductors", 1998. – 435 с.
6. Каталог фирмы "Bruel&Kjaer", 1993. – 852 с.
7. Каталог фирмы "Endevco", 2000. – 312 с.
8. Каталог фирмы "PCB Piezoelectronics, Inc", 2001. – 109 с.
9. Каталог фирмы "Vibro-Metrics, NC", 2007. – 92 с.
10. Патент на изобретение №2152621, Кл.С1 G01 R15/09, Н.Ф. Архипкин, А.А. Кирпичев, А.А. Редюшев, А.В. Шведов, Опубл. 10.07.2000.
11. Акустико-эмиссионная диагностика конструкций / Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Муравьев В.В., Комаров К.Л. и др. – М.: Радио и связь, 2000. – 280 с.

Статья поступила 27.03.2007 г.

© Н.Ф. Архипкин, А.А. Редюшев, А.Н. Цыпленков, 2007