

# **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ**

**О.В. Зацерклянный**

---

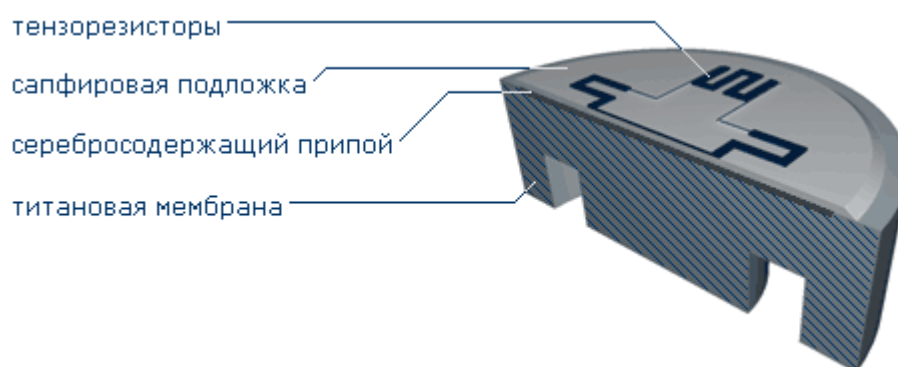
Датчики для измерения избыточного давления, абсолютного давления, разрежения, давления-разрежения, разности давлений, гидростатического давления (уровня) широко применяются для мониторинга различных технологических процессов, контроля и учета потребления природных ресурсов, учета энергоносителей и многих других задач охватывая диапазон давлений от 50 Па до 250 МПа.

В настоящей статье рассматриваются новые возможности интеллектуальных датчиков давления и их место в современных системах мониторинга и управления технологическими процессами.

Развитие датчиков давления идет одновременно по двум направлениям:

- совершенствование измерительных блоков
- совершенствование электронных устройств.

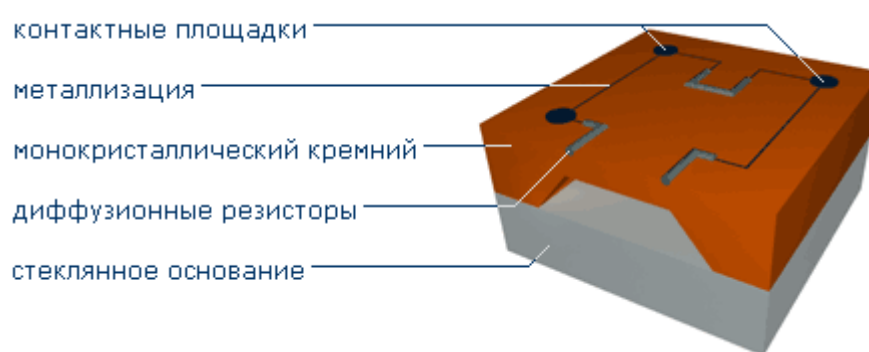
В настоящее время основная масса датчиков давления в нашей стране выпускаются на основе чувствительных элементов (рис.1), принципом которых является измерение деформации тензорезисторов, сформированных в эпитаксиальной пленке кремния на подложке из сапфира (КНС), припаянной твердым припоем к титановой мембране. Иногда вместо кремниевых тензорезисторов используют металлические: медные, никелевые, железные и др [2].



*Рис.1 Упрощенный вид тензорезистивного чувствительного элемента*

Принципиальное ограничение КНС преобразователя – неустраняемая временную нестабильность градуировочной характеристики и существенные гистерезисные эффекты от давления и температуры. Это обусловлено неоднородностью конструкции и жесткой связью мембраны с конструктивными элементами датчика.

Практически все производители датчиков в России проявляют интерес к использованию интегральных чувствительных элементов на основе монокристаллического кремния. Это обусловлено тем, что кремниевые преобразователи имеют на порядок большую временную и температурную стабильности по сравнению с приборами на основе КНС структур [2].



*Рис.2 Кремниевый интегральный преобразователь давления*

Основным преимуществом кремниевых преобразователей давления является более высокая стабильность характеристик, по сравнению с КНС преобразователями. Они устойчивы к воздействию ударных и знакопеременных

нагрузок. Если не происходит механического разрушения чувствительного элемента, то после снятия нагрузки он возвращается к первоначальному состоянию, что объясняется использованием идеально-упругого материала.

Существенно лучшие показатели по основной погрешности, гистерезису, динамическому диапазону и временной стабильности имеют емкостные и резонансные преобразователи, выпускаемые мировыми лидерами в производстве датчиков давления как Fisher-Rosemount, MKS-Instruments, Druck, Yokogawa. Для датчиков с емкостными и резонансными чувствительными элементами типичными являются [1,2,3,4]:

- основная погрешность 0,075; 0,04; 0,025 %
- межповерочный интервал не менее 3÷5 лет
- диапазон перенастройки 1:50; 1:100

Высокие точностные характеристики делают их незаменимыми при коммерческом учете и контроле, где их высокая цена компенсируется стоимостью сэкономленных ресурсов.

Кроме упомянутых выше методов преобразования давления в электрический сигнал, следует упомянуть индукционный и ионизационный методы. В таблице 1 приведены основные достоинства и недостатки различных методов преобразования давления в электрический сигнал [2].

Таблица 1. Основные достоинства и недостатки методов преобразования давления в электрический сигнал.

<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
<b><i>КНС-преобразователи</i></b>	
1. Высокая степень защиты от агрессивной среды	1. Неустраняемая нестабильность градуировочной характеристики
2. Высокий предел рабочей температуры	2. Высокие гистерезисные эффекты от давления и температуры
3. Налажено серийное производство	
4. Низкая стоимость	3. Низкая устойчивость при

воздействию ударных нагрузок и вибраций

### ***Преобразователи на монокристаллическом кремнии***

1. Высокая стабильность характеристик
  2. Устойчивость к ударным нагрузкам и вибрациям
  3. Низкие (практически отсутствуют) гистерезисные эффекты
  4. Высокая точность
  5. Низкая цена
  6. Возможность измерять давление различных агрессивных средств
1. Ограничение по температуре (до 150°C)

### ***Емкостной***

1. Высокая точность
  2. Высокая стабильность характеристик
  3. Возможность измерять низкий вакуум
  4. Простота конструкции
  5. Стойкость к перегрузкам
1. Зачастую, нелинейная зависимость емкости от приложенного давления

### ***Резонансный***

1. Высокая стабильность характеристик
  2. Высокая точность измерения давления
1. При измерении давления агрессивных сред необходимо защитить чувствительный элемент, что приводит к потере точности измерения
  2. Высокая цена
  3. Длительное время отклика
  4. Индивидуальная характеристика преобразования давления в электрический сигнал

### ***Индукционный***

1. Возможность измерять дифференциальные давления с высокой точностью
1. Сильное влияние магнитного поля
2. Чувствительность к вибрациям и ударам
2. Незначительное влияние температуры на точность измерения

### ***Ионизационный***

1. Возможность измерения высокого вакуума
1. Нельзя использовать подобные приборы при высоком давлении (низкий вакуум является порогом)
2. Высокая точность
2. Нелинейная зависимость выходного сигнала от приложенного давления
3. Стабильность выходных параметров
3. Высокая хрупкость
4. Необходимо сочетать с другими датчиками давления

В большинстве случаев требуется несколько параметров преобразователей: точность, стабильность выходных характеристик, надежность, долговечность, низкая цена. Таким требованиям, как видно из вышеприведенной таблицы, удовлетворяют пьезорезистивные датчики давления и КНС-преобразователи.

Совершенствование электронных устройств обусловлено, в первую очередь, высокими темпами развития микроэлектроники. Именно с изменением элементной базы электронных устройств обработки сигналов первичных преобразователей (ПП) связано появление нового поколения датчиков. На рынке появились недорогие микроэлектронные устройства (в частности микропроцессоры, аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи) технические характеристики которых позволили провести разработки интеллектуальных датчиков давления (ИДД).

Использование микропроцессорной электроники позволяет получать высокие результаты при линеаризации, улучшении температурных характеристик, увеличении сервисных функций, повышении надежности.

К основным функциональным возможностям ИДД можно отнести:

1. Компенсацию основных и дополнительных погрешностей. Выделяются три вида компенсации:

- компенсация нелинейности
- компенсация влияний температуры
- компенсация изменений во времени, вызванная деградацией ПП

Решая задачу аппроксимации измеренных характеристик ИБ в значениях выходного сигнала, давления и температуры, удалось в несколько раз уменьшить основную погрешность и 3÷5 раз дополнительную погрешность от температуры.

2. Оценка достоверности данных.

Возможность обрабатывать данные не только выходного сигнала, но и дополнительных параметров ПП, позволяет проводить непрерывную диагностику, отслеживая неисправности и делая выводы о достоверности измерений. Алгоритмы диагностики ПП, естественно, зависят от их конструкции. В частности, для КНС-структур параметром, по которому можно судить о работоспособности ПП является сопротивление чувствительного узла. Отслеживая сопротивление диагоналей и плечей моста Уинстона можно делать выводы не только о работоспособности ИБ в целом, но и диагностировать неисправности.

3. Обработка данных и возможность передачи на интерфейс связи наиболее значимой информации в удобном представлении.

4. Расширенные возможности связи.

Важнейшим аспектом внедрения ИДД является расширение интерфейса. Применение цифровых интерфейсов позволяет обеспечивать двухстороннюю связь датчика с пользователем для гибкого управления: перенастройки,

диагностики, калибровки. Наиболее часто применяемыми в составе ИДД цифровыми интерфейсами являются HART, RS-485, CAN.

Основной областью применения ИДД являются распределенные интегральные компьютерные системы (РКС) мониторинга и управления.

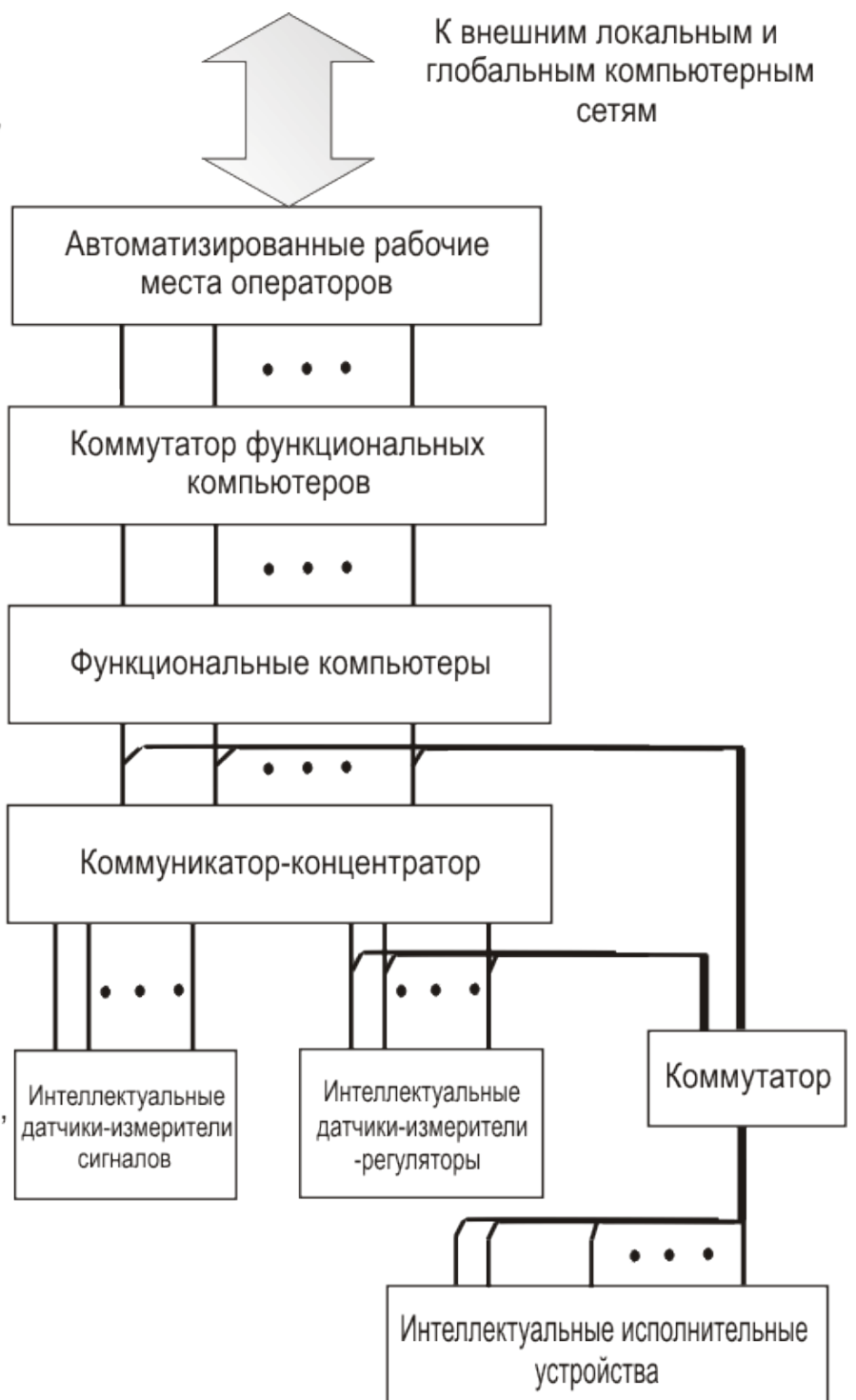
Для управления сложными техническими объектами (процессами) с динамично изменяющимся состоянием нужны РКС, способные решать задачи в высоком темпе реального времени. В качестве перспективных представителей таких средств могут быть предложены распределенные интеллектуальные компьютерные управляющие системы (РИКУС).

РИКУС строятся в виде сетей с программируемой структурой, узлами которых являются не только промышленные функциональные и персональные компьютеры, а также интеллектуальные датчики-измерители сигналов (ИДИС), но и интеллектуальные датчики-измерители – регуляторы переменных (ИДИР) и интеллектуальные исполнительные устройства (ИИУ) (рис.3).

**Верхний уровень:**  
анализ, оценка, хранение,  
отображение, принятие  
решений, управление

**Средний уровень:**  
синхронизация, сбор,  
анализ, накопление,  
принятие решений,  
управление состоянием  
системных компонентов

**Нижний уровень:**  
съем, преобразование,  
обработка, анализ,  
оценка, принятие решений,  
управление переменными  
состояния и параметрами



*Рис.3. Обобщенная программируемая структура распределенной интеллектуальной компьютерной управляющей системы.*

При создании РИКУС акцент делается на развитие и применение распараллеливаемых интеллектуальных методов управления, распределенных вычислений и интеллектуальной обработки информации, на высоком уровне



параллелизма проблемных, системных и коммуникационных процессов, на программируемость структуры.

Распределенные вычисления и интеллектуальная обработка информации реализуются на всех уровнях системы. На каждом уровне локальные компьютерные системы работают параллельно.

На нижнем уровне располагаются специализированные локальные микрокомпьютерные системы: различные ИДИС, ИДИР и ИИУ. При этом реализуются логические информационные потоки: «короткий» поток управляющих воздействий от ИДИР к ИИУ и «длинный» поток управляющих воздействий от функциональных компьютеров к ИИУ.

Аппаратно-программные средства нижнего уровня обеспечивают непосредственное управление локальными переменными объекта (процесса). Это уровень низовой автоматизации с высоким темпом обработки считываемой с объекта (процесса) информации, которая подвергается первичной обработке в подсистеме измерения переменных состояния и параметров. Результаты измерений используются для оценки локальных переменных состояния и параметров, в процессе которой учитываются накладываемые на эти переменные изменяющиеся во времени ограничения. Полученные оценки являются исходными данными для принятия решения о воздействии на локальные переменные состояния и параметры.

Принятое решение передается в подсистему управления локальными переменными состояния и параметрами и инициирует соответствующий процесс [7].

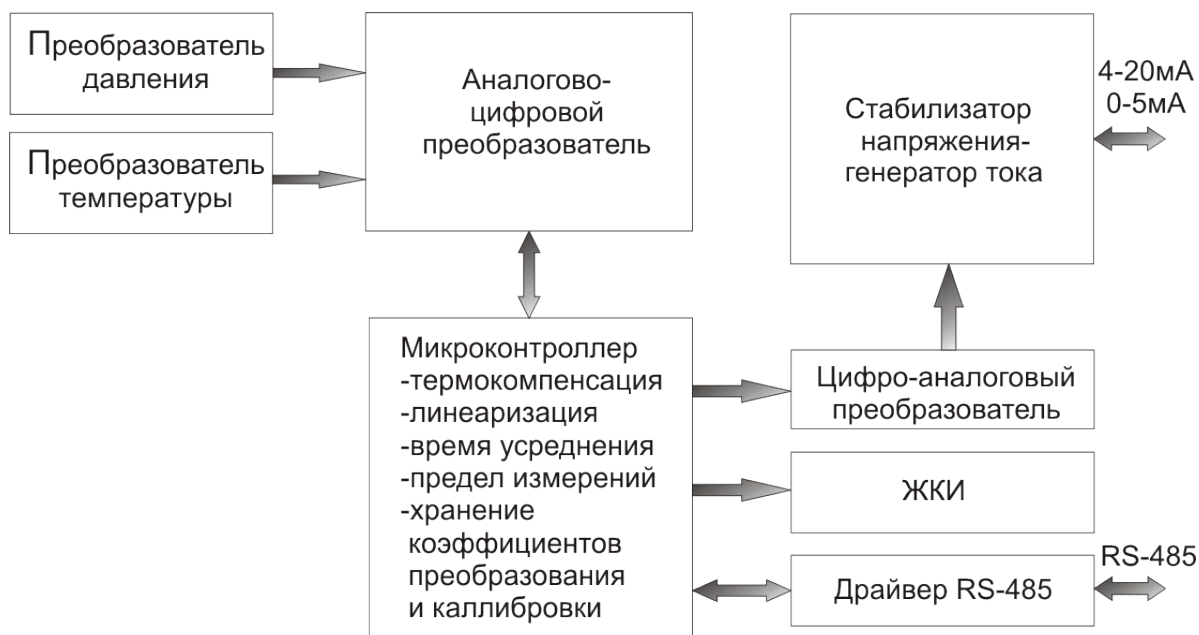
В настоящее время на российском рынке широко представлены различные ИДИС и ИИУ, однако полностью отсутствуют ИДИР. Для заполнения этого сегмента рынка нами разработана серия датчиков давления 415, которые совмещают в себе прецизионные измерения давления и возможность непосредственного управления локальными переменными объекта (процесса). Датчики этой серии обеспечивают непрерывное преобразование в

унифицированный токовый и/или цифровой выходной сигнал для дистанционной передачи следующих измеряемых величин:

- избыточного давления от 0,1 кПа до 250МПа;
- абсолютного давления от 25 кПа до 2,5 МПа;
- разрежения от 0,1 кПа до 100 кПа;
- давления-разрежения от  $\pm 0,05$  кПа до  $-1 \dots 2,4$ МПа;
- разности давлений от 0,25 кПа до 2,5 МПа;
- гидростатического давления от 0,25 м.в.ст. до 250 м.в.ст.

Измеряемые среды: жидкость, пар, газ.

Основные функциональные элементы датчика представлены на рисунке.



*Рис.4. Основные функциональные элементы датчика 415*

Внешний вид датчика представлен на рисунке 5.



*Рис.5. Внешний вид датчика 415ДД*

В качестве чувствительных элементов ПП используются КНС-структуры на которых удалось достичь точности 0,1% и дополнительной погрешности от температуры лучше 0,05%/10°C в диапазоне температур от -40 до +80 С.

Кроме основной функции контроля текущего значения измеряемого давления и преобразования в выходной токовый сигнал, используемая схемотехника позволяет:

- осуществлять непрерывную самодиагностику;
- осуществлять удобный контроль и настройку параметров датчика с помощью кнопочной клавиатуры и ЖК-индикатора;
- осуществлять оперативную установку «нуля»;
- одновременную индикацию текущего давления в установленных единицах и процентов от диапазона в цифровом и шкальном виде;
- производить перенастройку вида выходного аналогового сигнала с 0÷5 на 4÷20 мА и обратно;
- включение – выключение цифрового интерфейса RS-485;
- работу аналогового сигнала 0÷5 мА одновременно с цифровым выходом;
- обеспечить 8 пределов перенастройки (1:25);
- производить настройку на «смещенный» предел измерения;

- производить выбор зависимости выходного токового сигнала от входной величины (линейно-возрастающая, линейно-убывающая, пропорциональная корню квадратному перепада давления);
- производить настройку времени усреднения выходного сигнала (демпфирование) в пределах от 0,2 ÷ 25,6 с;
- производить выбор системы измерения (СИ, СГС), которое приводит к автоматическому изменению диапазона выходного сигнала.
- производить регистрацию и хранение информации в виде трендов с шагом от 1 минуты до 3 часов или по событию превышения или занижения заданного уровня давления;
- осуществлять управление исполнительными устройствами по двухпозиционному закону (твердотельное реле, открытый коллектор);

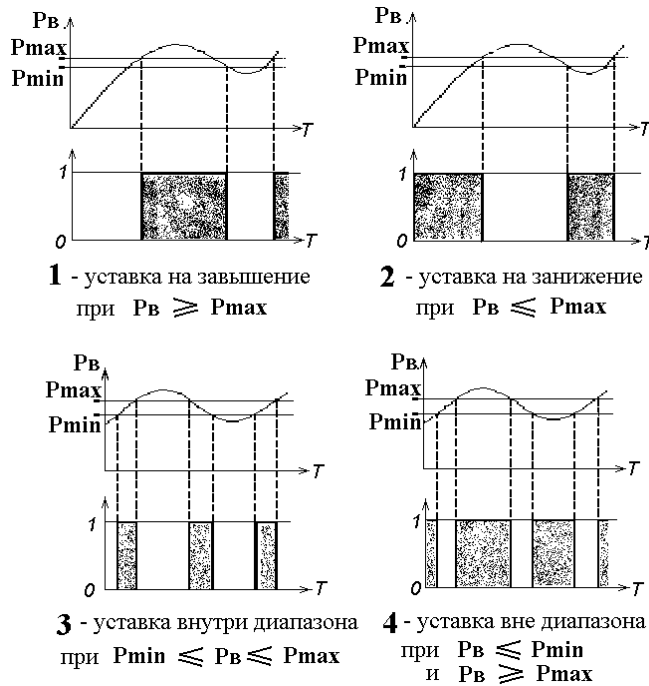
Из приведенного перечня видно, что датчики серии 415 полностью соответствуют современным тенденциям развития ИДД. В процессе работы датчик непрерывно анализирует сопротивление моста ЧЭ, а также значение полученного выходного сигнала, определяя достоверность данных и сигнализируя о нештатных ситуациях и возможных причинах неисправностей на жидкокристаллическом индикаторе.

К существенным преимуществам данной серии стоит отнести возможность перенастройки датчика в базовом исполнении на любой стандартный аналоговый и/или цифровой выходной сигнал, а также выбор системы измерений.

В датчике реализовано двухпозиционное регулирование (релейный выход) по следующим алгоритмам (см. рис.3):

- уставка на завышение
- уставка на занижение
- вход давления в установленные границы

- **ВЫХОД ДАВЛЕНИЯ ЗА УСТАНОВЛЕННЫЕ ГРАНИЦЫ**



*Рис.3. Логика работы канала управления*

Установка уровней регулировки и алгоритма может устанавливаться с индикатора датчика или по цифровому интерфейсу. Погрешность срабатывания не превышает погрешности датчика. Релейный выход коммутирует ток до 100 мА при напряжении 24В.

Наличие функций архивирования измеренных данных и управления исполнительными устройствами существенно расширяет спектр применений разработанной серии датчиков и

Литература:

1. [www.tek-know.ru](http://www.tek-know.ru)
2. [www.yokogawa.com](http://www.yokogawa.com)
3. [www.emersonprocess.com](http://www.emersonprocess.com)
4. [www.mks-instruments.com](http://www.mks-instruments.com)
5. [www.all-impex.ru](http://www.all-impex.ru)
6. С.Мекид Повышение структурного интеллекта кластеров датчиков в промышленном производстве //Датчики и системы-2007. - №4 – с. 50÷64.
7. О.Н.Пьявченко Перспективные распределенные интеллектуальные компьютерные системы мониторинга и управления с программируемой структурой//Известия ТРТУ-2006. - №5 – с. 3÷13.