

ляет управление данным объектом, основываясь только на глобальной обратной связи, реализованной посредством системы внешнего наблюдения и опытом, накопленным самой нейронной сетью в нейросетевом адаптивном контроллере.

Результаты экспериментов показывают, что высота поддерживается на заданном уровне с ошибкой, обусловленной особенностями реализации управляющего сигнала, который может принимать только четыре уровня. Кроме того, частота обновления составляет 2 герца, что также создает дополнительную погрешность.

В работе предложен нейросетевой регулятор, позволяющий управлять объектами в условиях неопределенной структуры и параметров. Реализована система управления летающей модели вертолета Silverlit Picozzz. Проведенные эксперименты показали эффективность применения нейросетевого регулятора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Галушкин А.И.* Основы нейроуправления. // Нейрокомпьютер, № 9-10. 2002. –С. 87 – 106.
2. *Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю.* Нейросетевые системы управления. –М.: Высшая школа. 2002. –С. 183.
3. *Пшихонов В.Х., Шанин Д.А., Медведев М.Ю.* Построение нейросетевых регуляторов для синтеза адаптивных систем управления // М., Информационно-измерительные и управляющие системы. 2008. № 3.
4. *Омату С., Халид М., Юсоф Р.* Нейроуправление и его приложения. – М.: ИПРЖР, 2000. Серия Нейрокомпьютеры и их применение. Книга 2.

УДК 681.323

О.Н.Пьявченко

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Объединение сенсоров с микропроцессорами привело к появлению интеллектуальных датчиков давления (ИДД) [1], отличающихся от традиционных более высокой точностью и развитыми функциональными возможностями. Интеграция в сетевые коммуникации превращает ИДД в дистанционно управляемые интеллектуальные сетевые узлы, качественно улучшая эксплуатационные характеристики систем мониторинга, диагностики и управления.

В перспективных ИДД с развитыми функциональными возможностями в темпе реального времени на интервале дискретизации T решаются:

- 1) задачи аналоговой обработки сигналов;
- 2) задачи первичной цифровой обработки сигнала;
- 3) задачи вторичной обработки, среди которых основными являются прецизионные вычисления значений давления в заданных физических величинах, дополняющиеся при необходимости расчетами динамических характеристик значения давления, оценками его текущего и прогнозируемого состояний и принятия решений по результатам оценок;
- 4) задачи организации сетевого обмена.

Возможно построение различных моделей ИДД, отличающихся как физическими принципами построения чувствительных элементов (ЧЭ) и схемами прецизионной аналоговой обработки сигналов ЧЭ, так и наборами решаемых задач, особенностями реализованных на микропроцессорах методов и алгоритмов прецизионной обработки оцифрованных аналоговых сигналов, типами сетевых интерфейсов и протоколов, архитектурными и системотехническими решениями.

Конкурентоспособные ИДД создаются в рамках системного подхода [2], в соответствии с которым ИДД рассматривается как пятиуровневая пирамида реализуемых в нем задач, математических методов, алгоритмов, программ и аппаратных решений (рис. 1).

На вершине пирамиды располагаются задачи, решения которых обеспечивают выполнение требований к функциональным возможностям и характеристикам ИДД.

Для решения сформированного набора задач могут применяться различные математические методы обработки и преобразований измеряемых переменных, которые могут включать, например, методы первичной обработки сигналов, методы аппроксимации, используемые для построения градуировочных функций, методы оценок текущих и прогнозируемых состояний давления, формирования решений о необходимых управляющих воздействиях и т.п.



Рис. 1. Иерархия интеллектуального датчика давления

Для реализации в ИДД выбранных математических методов и формул синтезируются микропроцессорные алгоритмы, отражающие особенности микропроцессорной обработки информации в проектируемом ИДД.

В состав алгоритмического обеспечения, кроме вычислительных микропроцессорных алгоритмов, входят логические алгоритмы и алгоритмы управления функционированием ИДД в различных режимах работы, прежде всего в "жестком" темпе реального времени, а также алгоритмы идентификации этих режимов работы.

Ключевое место в системном представлении об ИДД занимает программное обеспечение, которое, как и алгоритмическое обеспечение, является конечным продуктом проектирования. При этом программы микропроцессорных алгоритмов рассматриваются как одна из форм их записи на языке программирования, наиболее полно отражающей особенности этих алгоритмов, а также микропроцессоров, и обеспечивающей адекватную оптимальную трансляцию в коды команд микропроцессоров.

Основанием пирамиды является аппаратное обеспечение, которое наряду с алгоритмическим и программным обеспечением является основной частью конечного продукта.

Аппаратура ИДД обеспечивает преобразование физических величин (давления, температуры) в электрические сигналы, фильтрацию помех и усиление сигнала.

лов, преобразование аналоговых сигналов в цифровые, первичную и вторичную обработку цифровых сигналов, представление результатов обработки в формах, принятых для вывода из ИДД, передачу результатов обработки в цифровые и аналоговые коммуникационные каналы.

В процессе исследований и проектирования ИДД рассматривается как гибридная аналого-цифровая микропроцессорная система, являющаяся неразрывной совокупностью алгоритмических, программных и аппаратных средств, разработка которых ведется в тесной взаимосвязи. При этом ИДД проектируется как многоблочная структура, в состав которой входят чувствительный элемент (ЧЭ), многоканальный прецизионный аналоговый преобразователь (ПАП), центральный микроконтроллер (ЦМК), включающий АЦП и центральный микропроцессор (ЦМП), интерфейс сетевого обмена (ИСО) и интерфейс аналогового вывода (ИАВ) (рис. 2) [1].

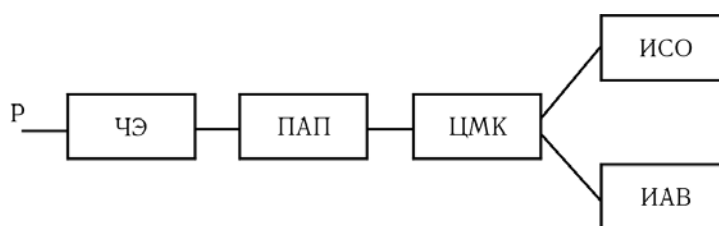


Рис. 2. Блочная структура интеллектуального датчика давления

В процессе обработки сигнала ЧЭ все блоки ИДД, кроме интерфейса сетевого обмена, вносят погрешности $\varepsilon_{ПАП}$, $\varepsilon_{ЦМК}$, $\varepsilon_{ИСО}$. Если величины абсолютных трансформированных на выходы ИДД погрешностей $\varepsilon_{ПАПv}$, $\varepsilon_{ЦМКv}$, $\varepsilon_{ИСОv}$ не меньше трансформированной погрешности чувствительного элемента $\varepsilon_{ЧЭv}$ одного порядка, то погрешность ИДД может существенно превысить трансформированную погрешность ЧЭ

$$\varepsilon_{ИДД} > \varepsilon_{ЧЭv}.$$

Для оценки влияния погрешностей блоков ПАП, ЦМК, ИСО на погрешности результатов, формируемых ИДД, и определения оптимальных соотношений между этими погрешностями рассмотрим погрешности интеллектуального датчика давления $\varepsilon_{ИДД1}$, $\varepsilon_{ИДД2}$ формируемые на выходах ИСО и ИАВ по схеме, приведенной на рис. 3.

Для обеспечения более детального анализа в блочной структуре ИДД (рис. 3) центральный микроконтроллер ЦМК (рис. 2) представлен звеном, включающим аналого-цифровой преобразователь АЦП и центральный микропроцессор ЦМП.

При формировании погрешностей ИДД учтено, что погрешности как аналоговых, так и цифровых переменных, поступающих на входы блоков передаются на выходы в результате умножения на коэффициенты трансформирования $K_{ПАП}$, $K_{АЦП}$, $K_{ЦМП}$, $K_{ИСО}$, $K_{ИАВ}$.

Поскольку коэффициент трансформирования блока ИСО $K_{ИСО} = 1$ и погрешность этого блока $\varepsilon_{ИСО} = 0$, то в соответствии со схемой (рис. 3) на выходе ИСО погрешность числового результата измерения в интеллектуальном датчике составляет

$$\varepsilon_{ИДД1} = ((\varepsilon_{ЧЭ} K_{ПАП} + \varepsilon_{ПАП})K_{АЦП} + \varepsilon_{АЦП})K_{ЦМП} + \varepsilon_{ЦМП}, \quad (1)$$

где выражение

$$\varepsilon_{АЧД} = \varepsilon_{ЧЭ} K_{ПАП} + \varepsilon_{ПАП} \quad (2)$$

приближенно описывает погрешность аналоговой части датчика, а выражение

– $\varepsilon_{ИДД} = \varepsilon_{ЦМК} = (\varepsilon_{АЧД} K_{АЦП} + \varepsilon_{АЦП}) K_{ЦМП} + \varepsilon_{ЦМП}$ (3)
 – погрешность на выходе блока центрального микроконтроллера и ИСО (рис. 3).

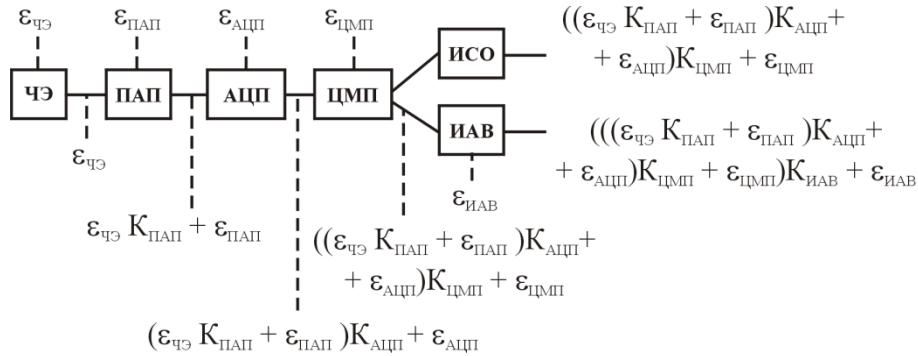


Рис. 3. Схема формирования погрешностей интеллектуального датчика давления

Повышение точности обработки в интеллектуальных микропроцессорных модулях обеспечивается в результате реализации совокупности прецизионных методов аналоговой и микропроцессорной обработки сигналов [4].

Реализация высокоточного прецизионного аналогового преобразователя, обеспечивающего выполнение соотношения

$$\varepsilon_{ЧЭ} K_{ПАП} \gg \varepsilon_{ПАП}, \quad (4)$$

позволяет понизить погрешность аналоговой части ИДД (2) до

$$\varepsilon_{АЧД} \approx \varepsilon_{ЧЭ} K_{ПАП}.$$

В свою очередь, ПАП под управлением ЦМК (рис. 2) обеспечивает компенсацию технологических погрешностей изготовления ЧЭ. Эта особенность ПАП существенно уменьшает базовые технологические требования и повышает предельную точность измерений. Например, когда первоначальная погрешность дифференциального сигнала измерительного моста ЧЭ составляет 1% от величины опорного напряжения, компенсация позволяет повысить точность измерения ИДД в 4 раза [3].

При правильном выборе количества разрядов цифро-аналоговые преобразования практически не увеличивают погрешность сигнала ПАП, так как

$$\varepsilon_{АЧД} K_{АЦП} \gg \varepsilon_{АЦП}. \quad (5)$$

Поэтому погрешность на выходе ЦМП ИДД складывается из трансформируемой погрешности аналогового датчика (выход ПАП) и погрешности микропроцессорной обработки $\varepsilon_{ЦМП}$, т.е.

$$\varepsilon_{ИДД} \approx \varepsilon_{АЧД} K_{АЦП} K_{ЦМП} + \varepsilon_{ЦМП}. \quad (6)$$

В результате некорректного проектирования алгоритмов цифровой обработки погрешность ЦМП может привести к существенному увеличению погрешности ИДД. Для определения условий, соблюдение которых позволит не допустить такие последствия, рассмотрим погрешность ЦМП, представленную суммой погрешностей

$$\varepsilon_{ЦМП} = \varepsilon_{\mu} + \varepsilon_{\beta}, \quad (7)$$

в которой ε_{μ} – методическая погрешность использованных для преобразования формул; ε_{β} – инструментальная погрешность, присутствующая в результатах из-

мерений в связи с обработкой в ЦМП данных, представленных с ограниченной разрядностью.

Так как трансформированная погрешность

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{АЦП} K_{АЦП} K_{ЦМП} \quad (8)$$

всегда присутствует в результатах измерений ИДД, то при проектировании ИДД между предельно допустимыми погрешностями следует соблюдать соотношение

$$\widehat{\varepsilon}_v \gg \widehat{\varepsilon}_\mu \geq \widehat{\varepsilon}_\beta. \quad (9)$$

Значение предельно допустимой методической погрешности $\widehat{\varepsilon}_\mu$ устанавливается при выборе метода и выводе (выборе) формул преобразования. Например, при синтезе (разработке) градуировочной зависимости методическая погрешность является результатом выбора аппроксимирующей функции. Инструментальная погрешность $\widehat{\varepsilon}_\beta$ характерна для микропроцессорных алгоритмов и зависит от масштабирования и разрядности используемых в вычислениях данных и организации их обработки. Уменьшение этой погрешности достигается в процессе синтеза микропроцессорных алгоритмов и их адекватной реализации в микроконтроллерах.

При соблюдении условия (9) приведенная относительная погрешность результатов обработки на выходе ИДД наблюдения определяется предельной относительной погрешностью ЧЭ датчика.

Действительно, поскольку

$$\varepsilon_{ИДД} \approx K_{ПАП} K_{АЦП} K_{ЦМП} \varepsilon_{ЧЭ}, \quad (10)$$

то отношение (10) к предельному значению результата преобразования

$$\max_i P_i \approx K_{ПАП} K_{АЦП} K_{ЦМП} \max_i u_{ЧЭi}$$

составит

$$\delta\varepsilon_{ИДД} = \frac{\varepsilon_{ИДД}}{\max_i P_i} \approx \frac{K_{АЦП} K_{ЦМП} \varepsilon_{ЧЭ}}{K_{ПАП} K_{АЦП} K_{ЦМП} \max_i u_{ЧЭi}} = \frac{\varepsilon_{ЧЭ}}{\max_i u_{ЧЭi}} \approx \delta\varepsilon_{ЧЭ}. \quad (11)$$

Так же, как в аналоговых датчиках, погрешность ИДД зависит от температуры окружающей среды. Основной причиной появления температурной погрешности является изменение параметров ЧЭ, приводящее к формированию значительной дополнительной температурной погрешности $\Delta\varepsilon_{ЧЭ}(T^0)$. Поэтому погрешность измерений в ИДД более корректно описывается выражением

$$\varepsilon_{ИДД}(T^0) \approx K_{ПАП} K_{АЦП} K_{ЦМП} (\varepsilon_{ЧЭ} + \Delta\varepsilon_{ЧЭ}(T^0)). \quad (12)$$

Следует заметить, что при работе ИДД в широком диапазоне изменения температуры, например, от -40^0C до $+80^0\text{C}$ его погрешность (12) изменяется в несколько раз по сравнению с ее номинальным значением. Для уменьшения зависимости параметров электрического сигнала ЧЭ от изменения температуры ЧЭ создаются на базе термостабильных материалов. Применяются также в ПАП специальные схемотехнические решения. Однако и в этих случаях погрешность ИДД увеличивается в несколько раз на концах диапазона изменения температуры. Необходимая температурная стабильность

$$\delta\varepsilon_{ИДД}(T^0) \approx \delta\varepsilon_{ИДД}$$

достигается при использовании в ИДД градуировочных характеристик, построенных на основе пространственных прецизионных моделей []. Суть таких корректирующих методов заключается в формировании переменных передаточных коэффициентов $K_{ЦМП}(T^0)$, обеспечивающих в заданном диапазоне изменение давле-

ния $P \in [P_{min}, P_{max}]$ и температуры $T^0 \in [T_{min}^0; T_{max}^0]$, обработку в ЦМП с погрешностью

$$K_{ЦМП}(T^0) (\varepsilon_{ЧЭ} + \Delta\varepsilon_{ЧЭ}(T^0)) \approx K_{ЦМП}\varepsilon_{ЧЭ}. \quad (13)$$

В этом случае на цифровом выходе ИДД будут формироваться результаты измерений, погрешности которых описываются выражением $\varepsilon_{ИДД}$ (10).

Естественной платой за введение в состав ИДД блока ИАВ является не только усложнение ИДД, но и увеличение погрешности представления результатов измерений за счет погрешности ИАВ

$$\varepsilon_{ИДД} \approx K_{ПАП} K_{АЦП} K_{ЦМП} K_{ИАВ}\varepsilon_{ЧЭ} + \varepsilon_{ИАВ}. \quad (14)$$

Достоинством использования в ИДД наряду с цифровым аналоговым выходом является более широкая номенклатура различных потребителей информации, с которыми может соединяться ИДД. Если же сравнить точность и информативность сигналов, формируемых аналоговыми датчиками, и сигналов на выходе ИАВ, то следует выделить более высокую температурную погрешность и более бедное информационное содержание сигналов аналоговых датчиков.

Таким образом, при выполнении соотношений (4), (5), (9), (13) можно построить многофункциональные прецизионные интеллектуальные датчики давления, обеспечивающие стабильную низкую погрешность во всем диапазоне измерений давления и измерения температуры окружающей среды.

Благодаря структурно-программной реализации алгоритмов, в ИДД могут быть реализованы гибкие архитектурные решения как при аналоговой, так и при цифровой обработке сигналов.

Аналоговая обработка реализуется преимущественно *структурно* аналоговыми схемами. Обработка сигналов давления и температуры может производиться параллельно по двум каналам ПАП. При этом используется программная настройка параметров канала давления.

При **цифровой обработке** преобладает *программная* реализация. Но даже в том случае, когда для обработки сигналов давления используется один микропроцессорный вычислитель (одноядерный ИДД) не обходятся без структурных (схемотехнических) реализаций (как правило, в составе микроконтроллеров) устройств прерывания процессов, счетчиков времени, интерфейсов с аналоговыми и цифровыми коммуникационными каналами и др.

В основу построения ИДД закладываются следующие принципы:

- сочетание особенностей аналоговой, цифровой и микропроцессорной обработки информации;
- микроконтроллерная организация функционирования;
- построение единого процесса обработки, базирующегося на объединении проблемных, управляющих и коммуникационных процедур;
- аппаратная поддержка основных процедур;
- конвейеризация и распараллеливание обработки информации в реальном масштабе времени;
- интегрируемость в цифровые промышленные сети;
- случае необходимости, обеспечение работы на аналоговые каналы связи.

Высокопроизводительные ИДД строятся на основе не только быстродействующих микроконтроллеров, но и более совершенных архитектурных решений, которые включают различные версии мультиядерной (мультимикроконтроллерной) обработки.

Чем совершеннее архитектура ИДД, тем выше аппаратные, экономические и другие затраты. Поэтому при разработке ИДД следует, прежде всего, оце-

нивать возможность применения вариантов однопроцессорных схем, а затем по мере необходимости переходить к более сложным решениям.

Наиболее простой и экономичной является структура одноядерного ИДД-1.0 (рис. 4), построенная на основе центрального микроконтроллера, который решает проблемные, функциональные и системные задачи, а также поддерживает работу сетевого канала.

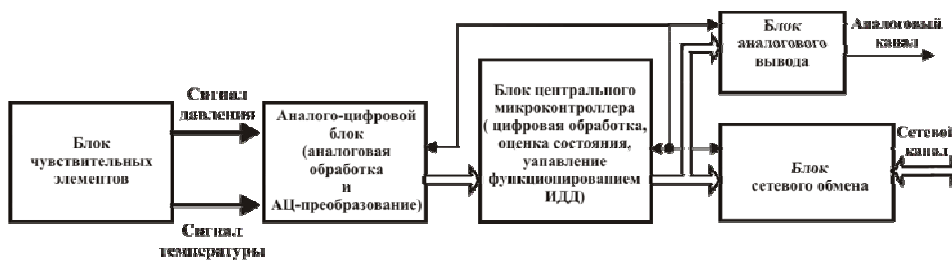


Рис. 4. Одноядерная блочная структура ИДД-1.0

В состав ИДД-1.0 входят:

- блок чувствительных элементов (БЧЭ), осуществляющий преобразование давления и температуры в электрические сигналы;
- аналогоцифровой блок (АЦБ), включающий программируемые усилители, фильтры и аналого-цифровые преобразователи, обеспечивающие прецизионную обработку аналоговых сигналов и их преобразование в цифровые коды;
- блок центрального микроконтроллера (БЦМК), который принимает от аналого-цифрового блока цифровые значения давления и температуры, подвергает их первичной обработке, проверяя на достоверность и сглаживая, представляет сглаженные значения сигнала давления в физических единицах давления, проверяет принадлежность текущего и прогнозируемого значения давления к рабочей зоне, выдает информацию в блок сетевого обмена и в блок аналогового вывода, формирует и подает управляющие команды в блоки ИДД;
- блок сетевого обмена (БСО) – сетевой интерфейс цифрового канала, в который генерируются значения давления;
- блок аналогового вывода (БАВ), формирующий аналоговые сигналы напряжения либо тока и генерирующий их в аналоговый сетевой канал.

Приведенный на схеме ИДД блок чувствительных элементов кроме электрического сигнала давления выдает сигнал температуры. Соответственно для прецизионной аналоговой обработки этих сигналов в аналого-цифровом блоке реализуются два канала, на выходах которых оцифровываются отфильтрованные и усиленные сигналы. Включение в состав блока аналого-цифровых преобразователей обосновано тогда, когда в микроконтроллере аналого-цифровые преобразователи отсутствуют либо они есть, но количество их разрядов недостаточное для обеспечения необходимой точности преобразования, либо недопустимо велико время преобразования. Если же в микроконтроллере имеются АЦП с необходимым количеством разрядов и удовлетворительным быстродействием, то в ИДД вместо аналого-цифрового блока используется прецизионный аналоговый блок (ПАБ). С выходов ПАБ аналоговые сигналы давления и температуры поступают на входы аналогового коммутатора, преобразуются АЦП и затем подвергаются цифровой обработке в микропроцессоре БЦМК.

В интеллектуальных датчиках давления, блочные структуры которых соответствуют версии ИДД-1.0, время измерения (вычисления) сигнала давления приближенно описывается выражением

$$t_{p1} = t_3 + t_{АЦБ}(1 - \chi_{АЦБ}) + t_{АЦБ/БЦМК}(1 - \chi_{АЦБ/БЦМК}) + t_{БЦМК} + t_{СК}(1 - \chi_{СК}). \quad (15)$$

В этом выражении обозначены:

t_3 – время, отводимое на запуск ИДД на каждом шаге измерения давления;

$t_{АЦБ}$ – время обработки сигналов в АЦБ;

$t_{АЦБ/БЦМК}$ – время передачи данных из АЦБ в БЦМК;

$t_{БЦМК}$ – время БЦМ, затрачиваемое на первичную и вторичную обработку сигнала давления, а также на управление вычислительным процессом и функционированием ИДД за исключением процедур управления передачей данных в сетевой канал;

$t_{СК}$ – время передачи данных в сетевой канал.

Основными способами сокращения t_{p1} являются уменьшение значений компонент выражения (15) в результате повышения скорости реализации соответствующих процедур и совмещения во времени выполнения этих процедур с работой центрального микроконтроллера. Возможность такого совмещения учтена в формуле (15) введением коэффициентов совмещения процессов $\chi_{АЦБ}$, $\chi_{АЦБ/БЦМК}$, $\chi_{СК}$.

При проектировании ИДД обеспечивается условие

$$t_{p1} \leq T, \quad (16)$$

где T – шаг дискретизации вычисления значений давления.

Для того чтобы создаваемые ИДД могли эффективно использоваться в системах управления не только первого, но и более высоких порядков, частоту дискретизации целесообразно выбирать не менее, чем в 10 раз больше наивысшей частоты сигнала [5] и соответственно устанавливать шаг дискретизации

$$T \leq \frac{1}{10f_{\max}}. \quad (17)$$

Для выполнения условия (16) используются следующие направления совершенствования схемотехнических решений:

- выбор схемотехнических решений, направленных на повышение быстродействия структурных компонентов ИДД;
- повышение быстродействия внутренних каналов обмена информацией;
- применение быстродействующих устройств хранения и передачи информации;
- развитие параллелизма при организации функционирования компонентов ИДД;
- обеспечение совмещения во время работы сетевого канала и процессов преобразований, измерений и обработки в ИДД.

В результате удачных аппаратурных решений можно обеспечить

$$t_{p1} \approx t_{БЦМ} + t_{СК}(1 - \chi_{СК}) \quad (18)$$

и выбрав нужный микроконтроллер, выполнить условие (16).

Это реально, когда ИДД работает в сети в режиме генерирования значений давления без применения протоколов либо с использованием примитивных протоколов. В таких случаях после каждого измерения следует передача результата в сетевой канал и суммарное время (18) не превышает длительность интервала дискретизации T (рис. 5).

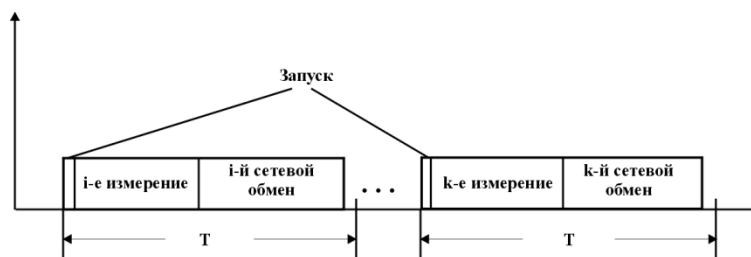


Рис. 5. Временная диаграмма работы ИДД-1.0

При развитом протокольном сетевом обмене информацией даже в режиме "master-slave" можно совместить этот процесс с процессом измерений, реализовав его в режиме разделения времени центрального микроконтроллера между обработкой и сетевым обменом. Для этого на шаге дискретизации T необходимо предусмотреть время, свободное от обработки сигнала давления и использовать его для выполнения части процедур сетевого обмена. Спустя некоторое время (кратное T) передача значений давления в сеть будет завершена. Очевидно, что применение такого способа сетевого обмена приведет к частичным потерям значений давления, которые можно сократить или даже исключить, если передавать результаты измерений пакетами (рис. 6).



Рис. 6. Временная диаграмма функционирования одноядерного ИДД-1.0 при сетевом обмене пакетами данных в режиме разделения времени

Однако, если ИДД должен работать в составе сетей, в которых обмен информацией организуется при помощи протокола, например CANBUS или MODBUS и т.п., то обосновано построение двухядерного ИДД (рис. 7).

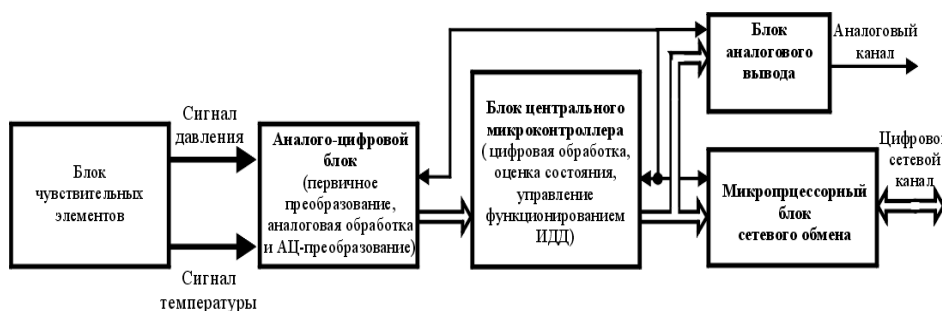


Рис. 7. Блочная структура ИДД-2.0

В двухядерном ИДД применяется микропроцессорный блок сетевой связи (МБСО), который независимо от блока центрального микроконтроллера организует участие ИДД в процессах сетевого обмена под управлением более простого специализированного микроконтроллера.

Совмещение функционирования МБСО с функционированием БЦМК приводит к затратам времени $t_{\text{БЦМК/МБСО}}$ на пересылку результатов измерений из БЦМК в МБСО, которые являются несущественными по сравнению с исключаемыми затратами на время сетевого обмена. При этом время формирования значения давления на шаге дискретизации составляет

$$t_{p2} = t_3 + t_{\text{АЦБ}}(1 - \chi_{\text{АЦБ}}) + t_{\text{АЦБ/БЦМК}}(1 - \chi_{\text{АЦБ/БЦМК}}) + t_{\text{БЦМК}} + t_{\text{БЦМК/МБСО}}(1 - \chi_{\text{БЦМК/МБСО}}). \quad (19)$$

Временная диаграмма, приведенная на рис. 8, иллюстрирует процесс совмещения сетевого обмена с вычислениями в ИДД-2.0.

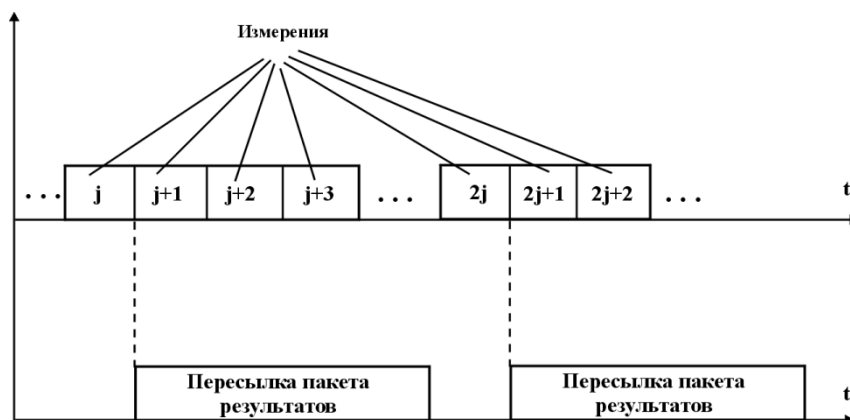


Рис.8. Временная диаграмма функционирования двухядерного ИДД-2.0 при сетевом обмене пакетами данных

Затраты времени $t_{\text{АЦБ/БЦМК}}$ на прием и запоминание сформированных на АЦП значений сигналов давления и температуры могут быть сокращены при использовании специальной организации хранения в БЦМК показаний датчика. Что же касается времени $t_{\text{БЦМК/МБСО}}$, то затраты на пересылку результатов обработки из блока центрального микроконтроллера в микропроцессорный блок сетевого обмена уменьшаются при выборе более производительного центрального микроконтроллера и передаче МБСО большей части процедуры пересылки.

Если затраты времени центрального микроконтроллера на процедуры системного управления ИДД значительные, то производительность ИДД может быть повышена, благодаря введению микропроцессорного блока системного управления.

В завершение заметим, что приведенные схемы ИДД-1.0, ИДД- 2.0 не исчерпывают возможные структурные решения. Дальнейшее развитие архитектуры ИДД возможно при совершенствовании блока центрального микроконтроллера, например, при подключении к центральному микроконтроллеру специализированного логического микроконтроллера оценки состояния и принятия решений. Однако целесообразность практической реализации такой структуры вызывает сомнения при небольшом объеме реализуемых в ИДД системных функций и отсутствии в продаже нужных микросхем.

Требования к производительности центрального микроконтроллера ИДД зависят от организации их функционирования в темпе реального времени.

Эти требования во многом определяются набором задач, который реализуется на интервале аналого-цифровых преобразований (АЦ-преобразований) $T_{\text{АЦ}}$

$\ll T$, и величиной этого интервала. При этом возможны следующие схемы организации вычислительных процессов [5].

Схема 1. Формирование результатов оцифровки, первичной обработки, измерения и оценки состояний на каждом интервале АЦ-преобразований $T_{АЦ} \ll T$.

Схема 2. Реализация на каждом интервале $T_{АЦ} \ll T$ результатов оцифровки и первичной обработки, однократное формирование результатов измерений и оценки состояний на интервале T .

Схема 3. Однократное формирование результатов измерений и оценки состояний на интервале T (17) на основе пакета n значений сигнала, полученных в начале этого интервала.

Анализ схем организации вычислений в ИДД позволяет рекомендовать следующий выбор.

В случае, когда результаты измерений и оценок состояний физических переменных, формирования управляющих воздействий должны выдаваться ИДД в канал связи с частотой в сотни раз превышающей $10f_{max}$ и с минимальной временной задержкой, работу ИДД следует организовать по схеме 1.

Если с выхода ИДД результаты измерений давления и оценок его текущего и прогнозируемого состояний должны выдаваться в сетевой канал с частотой $10f_{max}$, либо близкой к ней, то при построении прецизионного ИДД нужно рассматривать схемы 2 и 3. Эти схемы имеют близкие характеристики, однако схема 3 позволяет не только отвести больше времени под решение задач, но и при программировании не требует разбиения решения задач на кванты. В результате этого упрощается разработка и отладка программного обеспечения.

В завершение еще раз подчеркнем, что на современном уровне конструирования и производства создание интеллектуальных датчиков давления, отличающихся высокими технико-экономическими характеристиками, прежде всего, зависит от результатов комплексного решения совокупности проблем разработки (выбора) методов измерений, оценок состояний физических переменных, синтеза микропроцессорных алгоритмов и разработки программного обеспечения, разработки архитектуры аппаратуры и организации вычислений, определения схемотехнических решений и выбора элементной базы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измерительные приборы для применения в промышленности. // http://www.honeywell.ru/product/prge3_2_7.shtml.
2. Пьявченко О.Н. Проектирование локальных микрокомпьютерных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 238 с.
3. Пьявченко О.Н., Мокров Е.А., Панич А.Е., Клевцов С.И., Пьявченко А.О., Удод Е.В., Федоров А.Г. Методы, модели, алгоритмы и архитектура прецизионных датчиков давления. / Под ред. д.т.н., профессора О.Н.Пьявченко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 130 с.
4. Годбоул К. Переход от аналогового управления электроприводом к цифровому. // "Электронные компоненты". – № 11. 2006. – С.25-33.
5. Пьявченко О.Н. Концептуальное представление о прецизионных микропроцессорных модулях ввода, измерений и обработки аналоговых сигналов. Известия ТРТУ – Таганрог. – №3, 2007. – С.126-132.