

Г. Г. РАННЕВ

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

**Учебник**

*Рекомендовано*

*Учебно-методическим объединением по образованию  
в области приборостроения и оптоэлектроники  
в качестве учебника для студентов высших  
учебных заведений, обучающихся по направлению  
«Приборостроение» и специальностям «Информационно-  
измерительная техника и технологии», «Авиационные приборы  
и измерительно-вычислительные комплексы»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2010

УДК 389(075.8)

ББК 30.10я73

P224

Рецензенты:

зав. кафедрой «Измерительные информационные системы и технологии»

МГТУ «Станкин», д-р техн. наук, проф. *В. И. Телишевский*;

зав. кафедрой «Компьютерные информационные и управляющие системы

автоматики» ГТУ МИСиС, д-р техн. наук, проф. *З. Г. Салихов*

**Раннев Г.Г.**

P224 Интеллектуальные средства измерений : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Раннев. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 272 с.

ISBN 978-5-7695-6469-7

Рассмотрены проблемы интеллектуализации измерений, применение нейроструктуры в средствах измерений; измерительные базы знаний; особенности аппаратной и программной частей интеллектуальных средств измерений.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Приборостроение», и специалистов в области информационно-измерительной техники и технологий, информационных систем и метрологии.

УДК 389(075.8)

ББК 30.10я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Раннев Г. Г., 2010

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

ISBN 978-5-7695-6469-7

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- АСНИ — автоматизированная система для научных исследований и комплексных испытаний
- АСУТП — автоматизированная система управления технологическими процессами
- АЦП — аналого-цифровой преобразователь
- БИЗ — база измерительных знаний
- ВИ — виртуальный инструмент
- ЕЯ — естественный язык
- ИВК — измерительно-вычислительный комплекс
- ИВС — информационно-вычислительная система
- ИД — интеллектуальный датчик
- ИИС — информационно-измерительная система
- ИИУС — измерительная информационно-управляющая система
- ИК — интеллектуальный контроллер
- Ини — интеллектуальный интерфейс
- ИНИС — интеллектуализированная измерительная система
- ИнСИ — интеллектуальное средство измерений
- ИЧ — исполнительная часть
- ЛПР — лицо, принимающее решение
- НЧ — нечеткий регулятор
- ПО — предметная область
- ППО — прикладное программное обеспечение
- ППП — пакет прикладных программ
- ППФ — правильно построенная формула
- ПриС — процессорное измерительное средство
- ПФЛ — псевдофизическая логика
- РПР — регистр последовательных приближений
- САК — система автоматического контроля
- САПР — система автоматизированного управления
- СБИС — сверхбольшая интегральная схема
- СПР — система принятия решений
- СС — семантическая связь
- ССК — средство самоконтроля
- СУБД — система управления базами данных
- СУБЗ — система управления базами знаний
- ФНЧ — фильтр низких частот
- ЦАП — цифроаналоговый преобразователь
- ЭС — экспертная система

*Интеллект* (от лат. *intellectus* — познание, понимание, рассудок) — способность мышления, рационального познания.

*Большой энциклопедический словарь*

В информационно-измерительной технике в связи с удешевлением вычислительных мощностей микропроцессоры проникают на самый нижний уровень — датчики преобразования сигналов. Каждое интеллектуальное устройство (датчик, контроллер, элемент сравнения, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), интерфейс) может накапливать, хранить и выдавать информацию о том, где и кем оно было изготовлено, приобретено и установлено, о рабочих характеристиках, результатах диагностики и т. д. Идеология «интеллектуальных средств» становится частью практически любой продукции в сфере измерений, систем автоматического контроля, технической диагностики, телеизмерений и др.

Под интеллектуальными по отношению к датчикам, преобразователям, измерительным приборам, исполнительным механизмам, микроконтроллерам понимают устройства, удаленные от центра управления (операторской, диспетчерской), с которым они связаны информационными каналами. Этот термин употребляется в том смысле, что они обладают неким «интеллектом», способным обрабатывать сигнал, перестраивать свои параметры или алгоритм своей работы, работать с электронными таблицами и выполнять ряд дополнительных функций по команде с внешнего устройства или адаптивно в соответствии с меняющимися условиями. Фактически интеллектуальным сейчас называют любое устройство, имеющее в своем составе микропроцессор.

Бурное развитие отраслей кибернетики, объектом изучения которых является искусственный интеллект (системы на основе нечеткой логики, искусственные нейронные сети, теория распознавания образов, теория принятия решений и т. д.), привело к созданию соответствующих измерительных и контролирующих устройств, которые часто обозначаются тем же термином — «интеллектуальный». Причем в последнем случае этот термин гораздо точнее отражает существо дела, так как устройства имитируют в той или иной степени функционирование человеческого мозга, т. е. человеческий интеллект.

Термин «интеллектуальные» укрепился за всеми дистанционно управляемыми и автоматическими измерительными устройствами

с расширенными функциональными возможностями. В англоязычных источниках в отношении рассматриваемых в учебнике устройств в последнее время все чаще употребляют термин smart, избегая термина intellident.

Итак, интеллектуальные средства измерений имеют расширенные функциональные возможности по сравнению с беспроцессорными устройствами того же назначения. Например, интеллектуальный преобразователь может иметь повышенную точность за счет цифровых преобразований, компенсирующих нелинейность чувствительного элемента или его температурную зависимость; он может работать с большим числом разных типов датчиков, автоматически или по команде подстраивая свои характеристики преобразования под каждый из них; такой преобразователь может иметь автоматический выбор предела измерения, адаптировать алгоритм обработки данных под меняющиеся внешние условия, выполнять полуавтоматическую или автоматическую калибровку, самодиагностику, что значительно облегчает их эксплуатацию. Интеллектуальный датчик способен самостоятельно подстраиваться под условия эксплуатации и непрерывно регулировать свою чувствительность в целях достижения максимальной эффективности. Своим интеллектом датчики обязаны микропроцессорным технологиям. Микропроцессор — это мозг датчика, позволяющий устройству «излучать» условия, в которых оно работает. Являясь самообучающейся микропроцессорной системой, такой датчик способен обрабатывать большие объемы информации с высокой скоростью. Именно благодаря микропроцессорам сегодня у пользователя есть весьма удобные в установке, настройке и применении датчики.

Применение интеллектуальных измерительных устройств позволяет снизить требования к центральным управляющим компьютерам, а также сократить номенклатуру измерительных приборов до одной модели, что, несомненно, имеет положительный эффект при проектировании и производстве.

Следует отметить специфику программных средств, используемых при создании архитектуры интеллектуальных измерительных устройств, и появление нейросистем и нейрокомпьютеров, а также создание специального метрологического обеспечения.

За 30 с небольшим лет появления «умных» измерительных средств они достигли огромного прогресса. Можно привести множество примеров этого успеха. Дадим лишь два подтверждающих это утверждения.

Современные интеллектуальные фотоэлектрические датчики и бесконтактные переключатели обладают средствами диагностики и способны подключаться к сетям; вскоре к списку возможностей этих устройств добавятся и простейшие контроллерные функции. Благодаря достижениям в области видеодатчиков появи-

лись системы машинного зрения, способные различать цвета, и т. д.

Использование нейросетевых методов и алгоритмов позволило создать «искусственный нос». Различные прототипы электронного носа уже широко используются в промышленности, медицине, сельском хозяйстве и т. д.

В настоящее время сформировался обширный рынок нейросетевых продуктов. Подавляющее большинство продуктов представлено в виде моделирующего программного обеспечения. Ведущие фирмы разрабатывают также и специализированные нейрочипы или нейроплаты в виде приставок к обычным ЭВМ. При этом программы могут работать как без нейроприставок, так и с ними.

Отметим некоторые известные нейросистемы и их производителей.

Пакет программ Neural Works Professional II Plus содержит программные модели десятков архитектур нейронных сетей. Фирма объявила также о выпуске версии пакета для рабочих станций типа SUN и параллельных процессоров nCUBE.

Пакет программ ExploreNet 3000 в качестве ускорителя использует аппаратные разработки фирмы HNC — нейропроцессоры ANZA и ANZA+, являющиеся одними из первых аппаратных решений. Фирма предложила также средство для разработки прикладных программ — специализированный язык программирования AXON, основанный на языке C.

Оболочка NeuroShell 2.0 является совместимой с популярным пакетом управления данными Microsoft Excel, что делает программу удобной для массового использования.

В России известны разработки НИИ многопроцессорных вычислительных систем, г. Таганрог (сверхбольшая интегральная схема (СБИС) для цифровых нейрокомпьютеров, имеющая около 100 000 вентилях и работающая на частоте 20 МГц), Московского центра нейрокомпьютеров (аппаратные системы на основе транспьютеров). Среди программных систем следует отметить разработки кафедры нейрокибернетики Красноярского университета, системы распознавания образов НИИ нейрокибернетики Ростовского университета и Института прикладной физики в Нижнем Новгороде.

В предлагаемом учебнике использованы фрагменты из монографии В. Н. Романова, В. С. Соболева, В. И. Цветкова «Интеллектуальные средства измерений» (1994); учебника Д. В. Гаспарова «Интеллектуальные информационные системы» (2003); курса лекций В. П. Серебрякова «Организация интеллектуальных вычислений» (2005); учебно-справочного пособия З. Г. Салихова «Терминология основных понятий автоматизи» (2003), которые будут полезны студентам, изучающим курс «Интеллектуальные средства измерений».

Данный учебник написан на основе лекций, в течение ряда лет читаемых в Московском государственном открытом университете.

Автор благодарен д-ру техн. наук, проф. З.Г.Салихову и д-ру техн. наук, проф. В.И.Телешевскому за ряд ценных замечаний и советов, сделанных в результате рецензирования рукописи, и за огромный труд по ее рецензированию, а также инженеру И.М.Акимовой за компьютерную обработку рукописи учебника.

## ПРОБЛЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

### 1.1. Исходные положения и обзор состояния исследований по интеллектуализации измерений и средств измерений

Первым систематизированным трудом к концу XX в. была выпущенная в 1999 г. монография В. С. Соболева, В. Н. Романова и Э. Н. Цветкова «Интеллектуальные средства измерений». Ее авторы попытались собрать и обобщить материал по аппаратным, программным и метрологическим аспектам. Несмотря на многие достижения и изменения, происшедшие в области интеллектуальных измерений за последние годы, она остается основополагающей по проблемам интеллектуализации, моделированию, метрологическому обеспечению и другим вопросам интеллектуальных измерений.

Компьютеризация технических средств определила переход от отвлеченных рассуждений к практическим действиям по их интеллектуализации. Соответственно компьютеризация измерений породила новое направление в информационно-измерительной технике и метрологии — интеллектуальные измерения и измерительные средства.

Выделяют следующие предпосылки интеллектуализации измерений: компьютеризация измерений, переход к модульному принципу построения средств измерений, создание развитого математического обеспечения измерений.

Процесс компьютеризации измерений прошел три этапа.

Включение микропроцессора в состав измерительной цепи позволило возложить на программную часть измерительного средства реализацию сложных измерительных преобразований, обеспечивающих выполнение косвенных, совокупных и совместных измерений, статистических измерений, измерений с коррекцией и адаптивных измерений. Освоение микропроцессора как составной части измерительной цепи составило *первый этап* компьютеризации измерений. На этом этапе развитие измерительного математического обеспечения шло в направлении формализованного описания измерительных процедур, обеспечивающего возможность формирования программной части измерительного средства.

Совершенствование принципов построения измерительных средств, и в первую очередь использование модульного подхода к

синтезу как аппаратной, так и программной частей процессорных измерительных средств (ПриС), привело к созданию средств измерений с открытыми функциональными возможностями, варьируемыми за счет трансформации состава ПриС. Эта особенность ПриС в соединении с усложнением реализуемых алгоритмов измерений потребовала формирования адекватных методов метрологического анализа результатов и средств измерений с широким использованием расчетов и имитационного моделирования, выполняемых универсальными или специализированными вычислительными устройствами.

Возможность проведения метрологического анализа определяется помимо прочего наличием соответствующего математического обеспечения — математических моделей объектов, условий, процедур и средств измерений и алгоритмов оценивания характеристик погрешностей результатов измерений и метрологических характеристик средств измерений.

В том случае, когда метрологический анализ выполняется с помощью встроенных в ПриС средств, включая вычислительную часть, осуществляется автосопровождение измерений, в рамках которого могут выполняться не только необходимые расчеты и имитационное моделирование, но и метрологический эксперимент, проводимый с помощью встроенных образцовых средств, мер, калибраторов и т. п.

*Второй этап* связан с приданием ПриС возможности целенаправленного выбора рационального алгоритма измерений в фиксированной ситуации, определяемой видом измеряемой величины, свойствами объекта, условиями, требованиями, предъявляемыми к процедуре и средствам измерений, и наложенными ограничениями.

Понимая под *интеллектуальностью* способность технического средства общаться с пользователем и принимать решения о характере дальнейших действий, основанную на знаниях, можно сделать вывод о том, что *третий этап* компьютеризации измерений связан с их интеллектуализацией. При этом развиваются и принципы построения средств измерений в связи, во-первых, с необходимостью включения в их состав баз измерительных знаний (БИЗ), а во-вторых, с переходом к формированию измерительных цепей непосредственно в процессе функционирования интеллектуальных средств измерений (ИнСИ) с учетом текущих требований и ограничений, свойств объектов и условий измерений, а также имеющихся измерительных ресурсов.

Измерительное математическое обеспечение ИнСИ помимо математических моделей объектов, условий, процедур и средств измерений и алгоритмического обеспечения метрологического анализа включает в себя алгоритмическое обеспечение метрологического синтеза.

В дальнейшем полагается, что в отличие от измерений с коррекцией, когда изменяется (корректируется) результат измерений, и от адаптивных измерений, когда изменяются параметрические или функциональные характеристики звеньев измерительной цепи, интеллектуальные измерения предполагают использование промежуточных результатов измерений и результатов вспомогательных измерений для изменения (улучшения) алгоритма измерений.

Проблемы интеллектуализации измерительной техники в литературе начали активно обсуждаться и разрабатываться сравнительно давно. Объясняется это общими тенденциями в развитии вычислительной техники, темпами ее освоения в измерительной практике, достижениями в разработке проблемы искусственного интеллекта и его технических приложений.

Анализируя состояние вопроса применения искусственного интеллекта в измерительной технике, имеющиеся результаты и направления развития работ в области интеллектуальных средств измерений, содержащиеся в публикациях последнего периода, и на основании практического ознакомления с результатами работ в этой области в нашей стране и за рубежом можно сделать заключение о том, что в настоящее время исследования и разработки в области интеллектуализации средств измерений наиболее интенсивно развиваются по двум основным направлениям:

- 1) теория интеллектуализации измерений и измерительной техники;

- 2) разработка и постановка на производство средств измерений, обладающих элементами интеллекта.

Среди работ, относящихся к первому направлению, необходимо в первую очередь упомянуть публикацию Я. Стипановича как одну из первых работ в этой области, в которой сделана попытка описать интеллектуальные измерительные устройства как класс приборной техники и предложена некоторая их классификация с использованием уровней иерархии.

Основополагающей следует считать работу Г. С. Поспелова, определяющую общую методологию подходов к рассмотрению этих проблем. Здесь под ИнСИ понимаются средства измерений, способные к индивидуализации алгоритмов своего функционирования на основе априорной и получаемой измерительной информации с целью достижения заданных показателей качества функционирования.

Следует признать необходимым условием интеллектуальности наличие процессора (микропроцессора) в составе измерительной цепи.

Чрезвычайно важным моментом, отмечаемым во всех работах, является математическое и метрологическое обеспечение ИнСИ.

Объясняется это тем, что ИнСИ при всей их специфике и новизне принципов построения остаются средствами измерений со всей проблематикой их метрологического обеспечения.

Наиболее корректным и адекватным с позиций современной теории измерений является вероятностно-статистический подход к описанию как измеряемых величин, так и свойств самих средств измерений. При этом ряд принципиально важных измерительных задач приобретает формализованную постановку. Один из возможных подходов к проблеме использования априорной информации об объекте измерений для повышения точности — регрессионный анализ. Вместе с тем математический аппарат, базирующийся на вероятностно-статистическом подходе, не следует считать единственно возможным, так как аппарат нечетких множеств во многом превосходит последний.

Помимо работ общего характера, рассматривающих интеллектуализацию измерительных систем и средств измерений, в последнее время появляются работы, посвященные отдельным типам ИнСИ и конкретным вопросам их построения. Много работ, освещающих вопросы построения и использования интеллектуальных датчиков. Отмечается появление на мировом рынке нового класса «интеллектуальных датчиков», т. е. датчиков, содержащих встроенное микропроцессорное вычислительное устройство, выполняющее функции первичной обработки измерительной информации. В этой связи актуальной становится задача создания эффективных и компактных алгоритмов обработки измерительной информации с целью создания датчиков с высоким быстродействием и низким энергопотреблением.

Термин «интеллектуальный» последнее время становится столь популярным, что появились даже «интеллектуальные измерительные каналы», под которыми понимаются каналы, содержащие функциональные узлы на основе микропроцессоров и однокристалльных ЭВМ и реализующие концепцию «распределенного интеллекта».

Необходимо отметить, что экспертная система (ЭС), включающая в себя базу знаний и систему логического вывода, стала часто использоваться как ИнСИ.

В России и за рубежом достаточно широко используется ЭС в составе измерительной техники. Получены значительные результаты, связанные с созданием интерфейса пользователя. Достаточно подробно рассмотрены процедуры взаимодействия между пользователем и средством измерений и предложена их типизация. Дополнительный и самостоятельный интерес при этом представляет типовой набор возможностей средства измерений для обеспечения такого взаимодействия, включающий в себя, в частности, синтаксический анализ сообщений пользователя, генерации подсказок и комментариев.

При решении вспомогательных (сопутствующих) задач также возможно и целесообразно применение ЭС. Теоретической и методологической основой здесь является теория планирования эксперимента и богатый арсенал статистических методов обработки результатов измерений.

В целом в различных областях создано большое число средств измерений, включающих в свой состав ЭС и представляющих собой эвристическую реализацию ИнСИ. Примером может служить ЭС, предназначенная для интерпретации масс- и ИК-спектрометрических измерений в экспериментах по идентификации структур органических соединений, или система для ЯМР-спектроскопических исследований в медицине.

Подход, основанный на использовании знаний конечного пользователя, наиболее характерен для ЭС промышленного применения, например технической диагностики или измерительных систем, входящих в состав автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП).

Необходимость функционирования в режиме реального времени предъявляет специфические требования как к аппаратной части, так и к организации интерфейса ЭС для таких приложений. Интересным и полезным примером является использование ЭС для повышения надежности функционирования системы управления заправкой космического корабля системы «Спейс-Шаттл», использующей естественную избыточность измерительной информации от объекта и структурную избыточность самой измерительной системы.

Экспертные системы, предназначенные для целей проектирования средств измерений, представляют собой особую категорию, отличную от предыдущих прежде всего характером содержащейся в базе знаний информации. Помимо так называемых «измерительных знаний», экспертные системы содержат разнообразную нормативно-справочную информацию, информацию о типовых проектных решениях и с точки зрения общепринятых взглядов на системы автоматизации проектирования должны рассматриваться как часть информационного обеспечения соответствующих систем автоматизированного проектирования (САПР).

Все возрастающее внимание к проблемам создания и использования БИЗ, включаемых в ИнСИ, продемонстрировал международный симпозиум Технического комитета 4 ИМЕКО «Интеллектуальные измерения электрических и магнитных измерений».

Можно утверждать, что ряд положений, сформулированных ранее, относится к включению в состав ИнСИ экспертной системы. Высокий уровень автоматизации функционирования ИнСИ с использованием при необходимости интерактивного режима работы, а также аппаратная и программная избыточность изме-

рительных средств и развитый интеллектуальный интерфейс являются новыми и требуют дальнейшей разработки.

## **1.2. Интеллектуализация информационно-измерительных процессов**

С появлением нового поколения ЭВМ не только решается принципиально новый класс задач во всех отраслях науки и техники, но и существенно расширяются возможности при решении прежних традиционных задач на новом, более качественном уровне, который предполагает прежде всего обеспечение необходимой и достаточной интеллектуальной поддержки. Интеллектуализация информационно-измерительных процессов имеет в виду использование не только нового поколения инструментальных средств, но и нового поколения математического, алгоритмического и программного обеспечения. Информационно-измерительные средства с интеллектуальной поддержкой, как правило, применяются для решения сложных задач, где логическая (смысловая) обработка информации превалирует над вычислительной.

*Интеллектуальное измерительное средство, или система*, — это информационно-вычислительная система (ИВС) с интеллектуальной поддержкой при решении задач без участия оператора — лица, принимающего решение (ЛПР).

*Интеллектуализированное средство измерений, или система*, — это ИВС с интеллектуальной поддержкой при решении задач с участием оператора — ЛПР.

*Средство, или система с интеллектуальной поддержкой*, — это система, способная самостоятельно принимать решения.

Способность средства или системы самостоятельно принимать решение представляет собой способность системы получать и анализировать информацию, понимать ее и делать новые выводы (пополняя ее), формулировать заключения, т. е. «мыслить», помогая естественному интеллекту — человеку, который, в свою очередь, корректируя, «улучшает» принятое интегрированное решение.

Здесь следует оговориться, что существуют автоматы или просто механические и электронные реле, которые реагируют на наличие или отсутствие сигнала или при контроле параметров работают по принципу «да — нет». Это тоже принятие решения, однако отнесем их к ИнСИ с низким уровнем «интеллектуализации».

В связи с этим под *интеллектуализированной измерительной системой* (ИнИС) будем понимать систему, способную принимать решение в условиях:

- а) необходимости обрабатывать и анализировать большой массив измерительной информации;
- б) ограниченной информации или неопределенности;
- в) многомерного пространства;
- г) необходимости распознавать ситуацию (образы, ситуации и т. д.);
- д) различных стадий жизненного цикла объектов (процессов) — измерения, проектирования, производства, эксплуатации;
- е) динамических, эволюционирующих, нестационарных факторов, влияющих на решение задачи;
- ж) формализации и представления знаний;
- з) адаптации, самообучения, самоорганизации и т. д.

Таким образом, если ИнСИ имеет необходимую математическую, алгоритмическую, программную и инструментальную поддержку в принятии решения в перечисленных условиях, то будем считать, что у них есть интеллектуальная поддержка при решении широкого класса разнообразных задач.

Иными словами, можно формально записать:

$$\text{ИнСИ} = \langle \text{МО}, \text{АО}, \text{ПО}, \text{ИО} \rangle_{\langle (a, b, \dots, i) \rangle}$$

где МО, АО, ПО, ИО — математическое, алгоритмическое, программное и инструментальное обеспечение соответственно;  $\langle \rangle_0$  — при условии.

Класс ИнСИ объединяет сегодня несколько тысяч различных систем, которые можно классифицировать по различным критериям (табл. 1.1).

Интеллектуальные средства измерений классифицируют по следующим признакам:

- предметная область (ПО) (информационно-измерительная техника, автоматика, медицина, геология, авиация и т. д.);
- модели представления данных (продукционные, фреймовые и др.);
- тип вывода (прямого или обратного);
- тип ЭВМ (малые, средние, большие).

Следует отметить, что подавляющее число ИнСИ, используемых для решения практически значимых задач, являются *интегрированными*, т. е. состоящими из традиционной ИнСИ и других программных систем, с которыми ИнСИ взаимодействуют в процессе работы (системы управления базами данных (СУБД), пакеты прикладных программ (ППП), электронные таблицы и т. д.).

Компьютеризация измерений и стимулированное ею развитие функциональных возможностей измерительных средств привели к необходимости пересмотра принципов организации их работы и созданию ИнСИ. В связи с этим одним из основополагающих направлений развития современных систем сбора, обработки информации и управления является их *интеллектуализация*, т. е.

**Типовые задачи, решаемые ИнСИ**

Тип задачи	Определение (адресуемые задачи)
Измерение (интерпретация)	Процесс определения смысла параметров (построение описаний по наблюдаемым данным)
Диагностика	Процесс обнаружения неисправностей (в технике и живых организмах)
Слежение (мониторинг)	Непрерывная интерпретация данных в реальном масштабе времени и сигнализация о выходах параметров за допустимые пределы
Прогнозирование	Предсказание будущих событий на базе моделей прошлого и настоящего (вывод вероятных следствий из заданных ситуаций)
Планирование	Конструирование плана, т. е. программы действий
Проектирование	Построение спецификаций на создание объектов с заранее определенными свойствами
Отладка, ремонт	Выработка рекомендаций по устранению неисправностей
Обучение	Диагностика, интерпретация, планирование, проектирование
Управление	Интерпретация, прогноз, планирование, моделирование, оптимизация выработанных решений, мониторинг

придание им способности определения своего целесообразного поведения (алгоритма функционирования) в зависимости от изменяющихся условий их работы (текущих задач измерения и управления, входных воздействий, внутреннего состояния и имеющихся ресурсов). Теоретической основой для построения интеллектуальных систем является теория искусственного интеллекта и интеллектуальных ЭВМ. В последнее время возрастает число выпускаемых книг и монографий, посвященных разработке и использованию интеллектуальных систем в различных областях науки и техники, как у нас в стране, так и за рубежом. Измерительные системы являются неотъемлемой составной частью систем более высокого иерархического уровня — автоматизированных систем для научных исследований и комплексных

испытаний (АСНИ), АСУТП, гибких автоматизированных производств и робототехнических комплексов. В то же время задачи, решаемые ими, имеют очевидную специфику, определяемую измерительными и метрологическими аспектами проблемы. Поэтому вопросы интеллектуализации средств измерений и измерительных систем представляют самостоятельный интерес.

Современный этап развития приборостроения характеризуется широким применением в составе средств измерений вычислительных устройств, построенных на базе микропроцессоров, — микропроцессорных систем. В настоящее время подобные устройства принято называть интеллектуальными средствами измерений. Применяя такие системы в измерительных устройствах, достигают двух целей: расширяют функции измерительных устройств и улучшают их характеристики.

Использование микропроцессорных систем в средствах измерений позволяет по-новому подойти к их компоновке и алгоритмам функционирования, увеличить информационные возможности, повысить точность, надежность и быстродействие. В общем случае интеллектуализация измерительных устройств позволяет проводить:

- линеаризацию, масштабирование, обработку результатов косвенных или совокупных измерений и т. п.;
- вычисления по заданному алгоритму;
- статистическую обработку;
- анализ параметра на максимум, минимум и т. п.;
- корректировку статической характеристики на основе методов повышения точности измерительных устройств;
- автоматическую самоградуировку и самокалибровку, в частности восстановление коэффициента преобразования, корректировку нулевого уровня сигнала;
- сопряжение с информационно-измерительной системой более высокого уровня;
- самодиагностику;
- стабилизацию или программное регулирование режимных параметров измерительного устройства.

### **1.3. Принципы организации функционирования, построения и структура интеллектуальных измерительных средств**

Различные элементы интеллектуализации средств измерений, такие, как отказ от жестких алгоритмов их функционирования, использование имеющейся априорной и текущей информации, возможность принятия решений в зависимости от полученных

результатов измерений с последующим изменением алгоритма измерения, автокалибровка, самопроверка, реализуются во многих выпускаемых и разрабатываемых сейчас средствах измерений: информационно-измерительных системах (ИИС), измерительно-вычислительных комплексах (ИВК), автоматизированных системах метрологических испытаний и т. п.

Анализ принципов построения и типовых структур ИнСИ проводится на основе представлений о характере их функционирования, корреспондирующихся с принятыми принципами функционирования интеллектуальных ЭВМ, экспертных систем и др. Цикл работы ИнСИ состоит из четырех этапов.

На *первом этапе* ИнСИ воспринимает исходную информацию о характере измерительной задачи, об объектах и условиях измерений, предъявляемых требованиях и наложенных ограничениях. Вид и характер исходной информации должен обеспечивать возможность идентификации измерительной ситуации, определяемой свойствами объекта измерений, условиями измерений, предъявленными требованиями и наложенными ограничениями, и установления множества алгоритмов измерений, реализация которых возможна на основе входящих в ИнСИ аппаратных и программных средств.

На *втором этапе* цикла работы ИнСИ выполняются идентификация ситуации и установление множества алгоритмов измерений.

*Третий этап* цикла работы ИнСИ заключается в выборе наилучшего алгоритма измерений из числа возможных. Поскольку правило выбора этого алгоритма с неизбежностью связано с установлением характеристик точности результатов измерений при использовании сравниваемых алгоритмов, измерительные знания должны включать в себя все сведения, необходимые для выполнения соответствующих процедур — расчетов, имитационного моделирования, метрологических экспериментов или их комбинаций.

После выбора алгоритма измерений выполняется заключительный, *четвертый этап* работы ИнСИ — проведение необходимых измерений.

Для реализации описанного цикла работы В. Н. Романовым в 1994 г. предложено включать в состав ИнСИ следующие основные части (рис. 1.1):

- исполнительную (ИЧ) — реализует выбранную измерительную процедуру;
- базу измерительных знаний — состоит из баз знаний и данных, включающих в себя все необходимые сведения и оформленных в виде соответствующих массивов, совокупностей зависимостей, отображений и отношений, а также базы данных, содержащей основные сведения об ИнСИ;

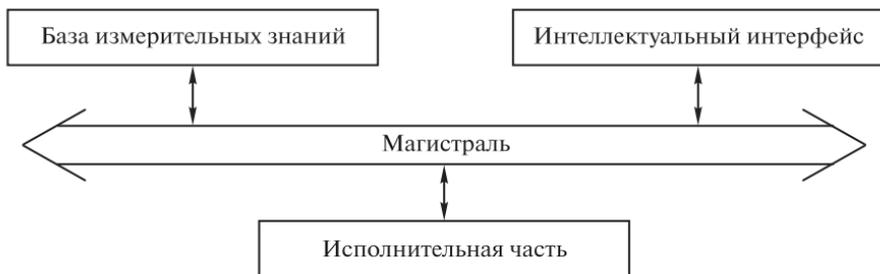


Рис. 1.1. Структура интеллектуального измерительного средства

- интеллектуальный интерфейс (ИНИ) — включает в себя необходимое программное обеспечение для получения исходной информации, использования знаний, управления ИЧ и выдачи результатов измерений.

Как правило, ИЧ, ИНИ и БИЗ объединяются общей магистралью.

Обобщенная блок-схема ИнСИ представлена на рис. 1.2. Отражая структуру аппаратной части ИнСИ, эта схема не позволяет четко выделить введенные основные компоненты — ИЧ, ИНИ и БИЗ, поскольку они представляются не только аппаратными, но и программными средствами.

Следует иметь в виду, что данная блок-схема представляет всю совокупность входящих в состав ИнСИ аппаратных средств, а не

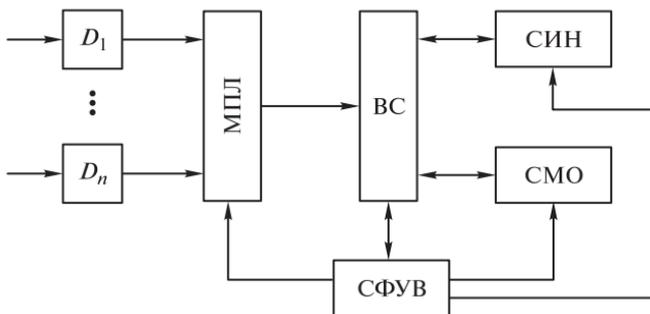


Рис. 1.2. Обобщенная блок-схема интеллектуального средства измерений:

$D_1 \dots D_n$  — датчики (первичные измерительные преобразователи); МПЛ — мультиплексор, объединяющий аналоговые измерительные средства и аналого-цифровые преобразователи; ВС — вычислительные средства, участвующие в выполнении измерительных и интерфейсных функций, а также процедурах использования результатов измерений; СИН — средства интеллектуального интерфейса; СМО — средства метрологического обеспечения; СФУВ — средства формирования управляющих воздействий

только ту их часть, которая непосредственно обеспечивает конкретную измерительную ситуацию, так как применительно к каждой конкретной измерительной задаче ИнСИ характеризуется аппаратной избыточностью, которая тем больше, чем многообразнее измерительные функции ИнСИ. Соответственно, указанные на блок-схеме связи имеют обобщенный характер и представляют возможность их использования при необходимости.

Все операции по анализу, интерпретации и использованию входной информации, БД и БИЗ для идентификации ситуации, синтеза алгоритма измерений и формирования соответствующей измерительной цепи выполняются интеллектуальным интерфейсом с использованием БИЗ. Измерения производятся средствами ИЧ.

Если измерительная процедура предполагает возможность трансформации алгоритма в процессе ее выполнения (интеллектуальные измерения), то для формирования соответствующих решений подключается ИнСИ, используя дополнительную информацию в виде промежуточных результатов измерений или результатов вспомогательных измерений.

Таким образом, интеллектуализация измерений требует использования нескольких смежных областей информатики, связанных с измерениями, обработкой информации, работой со знаниями и управлением. Развитие ИнСИ и их прогресс определяются в первую очередь неуклонным расширением состава используемых БИЗ и ростом возможностей ИнСИ. Вместе с тем работа по формированию БИЗ как общего назначения, так и для конкретных ПО требует наличия соответствующего математического обеспечения, включая алгоритмическое обеспечение идентификации ситуаций, метрологического анализа и метрологического синтеза.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое интеллект?
2. Какие предпосылки интеллектуализации измерительных средств вам известны?
3. Каковы этапы компьютеризации измерений?
4. Что понимают под интеллектуальным средством измерений или системой?
5. Каковы направления развития ИнСИ в настоящее время?
6. В чем состоит методология построения ИнСИ?
7. Какие математические методы лежат в основе математического обеспечения ИнСИ?
8. Каковы функции процессора в ИнСИ?
9. Что понимают под интеллектуальными измерительными каналами?