

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМЕТРИИ

УДК 681.20+681.2.082

Б. С. СОТСКОВ
(Москва)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ*

I. Современные научные исследования, как правило, характеризуются тем, что приходится изучать явления и процессы, недоступные для восприятия органами чувств человека и отличающиеся широкими пределами возможных интенсивностей — от крайне низких до предельно высоких, быстротечностью, необходимостью одновременного комплексного контроля и измерения ряда свойств или параметров. Часто исследуемые явления и процессы протекают в необычных или труднодоступных условиях (в космосе, в глубинах моря, Земли и т. п.). Для получения необходимой информации о параметрах и характеристиках изучаемых явлений и процессов или свойствах изучаемых веществ при этих условиях являются средства измерительной информационной техники (ИИТ).

Современная промышленность характеризуется производством продуктов или изделий, отвечающих стандартам, требующим высокого качества и постоянства свойств, параметров и характеристик исходных материалов, точного выполнения необходимых технологических операций по изготовлению данного продукта или изделия, тщательного контроля параметров и характеристик готового продукта или изделия. Следует заметить, что характерным для современной техники является кооперация ряда специализированных предприятий при изготовлении сложных изделий.

Данное положение вызывает необходимость существенного развития методов и средств ИИТ. Если в настоящее время современными методами и средствами ИИТ возможно измерение порядка 200—250 различных физических, физико-химических, технических и др. свойств и параметров, то в течение ближайших 10—15 лет необходимо будет, по предварительным оценкам, измерять до 800—1000 физических, физико-химических, технических, биофизических, биохимических и др. параметров. Это предъявляет ряд новых и острых требований к развитию методов и средств ИИТ.

* Более подробно основные положения настоящей статьи изложены в работе «Измерительные информационные системы» («Вопросы советской науки»), подготовленной Научным советом при Отделении механики и процессов управления АН СССР.

Необходимо существенно развить новые физические принципы построения средств ИИТ, используя разнообразные физические и физико-химические эффекты и явления как открытые в последнее время, так и открытые давно, но забытые и неиспользованные до настоящего времени.

Следует повысить точность измерения, для чего необходимо как повышение чувствительности средств измерения и понижение их порога чувствительности, так и совершенствование различных методов устранения влияния внешних помех и внутренних погрешностей. Во многих случаях надо существенно повысить быстродействие средств ИИТ, без чего нельзя проводить измерений быстропротекающих явлений и процессов.

Часто необходимо проводить массовые измерения одного и того же параметра в различных точках пространства и через относительно короткие промежутки времени или комплексные совместные измерения ряда параметров в различных точках пространства непрерывно или через короткие промежутки времени. Это вызывает необходимость быстрой автоматической обработки и регистрации результатов в каждой точке измерения или в центральном пункте сбора измерительной информации. С этой целью требуется развитие методов и средств автоматического сбора, обработки, представления и регистрации результатов измерения. Требуется также и передача частных или промежуточных результатов измерения от точки измерения к пульту сбора, обработки и регистрации всех результатов измерений. Это вызывает развитие методов и средств телеметрии, использующей различные физические каналы связи: электромагнитные (беспроводные и проводные), оптические, акустические.

Таким образом, развитие методов и средств ИИТ приводит к созданию измерительных информационных систем (ИИС), включающих операции сбора, передачи, обработки, хранения, регистрации и представление результатов измерения, контроля, диагностики. ИИС могут охватывать средства сбора информации, распределенные на большом пространстве либо сосредоточенные в виде автоматических измерительных станций, установок или станций, в которых осуществляются процессы измерений, включая различные необходимые вспомогательные операции обработки, регистрации и представления результатов измерений.

Из сказанного выше следует, что дальнейшее развитие научных исследований в значительной мере будет определяться успехами в развитии методов и средств ИИТ. Прекрасным примером является развитие наших знаний о космосе и космической метеорологии, получаемых с помощью измерительных приборов и средств телеизмерения с ракет, космических кораблей и спутников.

Существенные успехи в изучении океанов и морей, глубин Земли, биофизических и биохимических процессов возможно только при опережающем развитии методов и средств измерения.

В технике средства ИИТ из вспомогательных стали органической и важной составляющими технологического оснащения современных производственных процессов, обеспечивающих как необходимый ход производственного процесса, так и надлежащее качество промежуточных и конечных продуктов и изделий.

Существуют производственные процессы, где число рабочих, занятых на операциях контроля и измерения свойств, параметров и характеристик материалов, полуфабрикатов и конечных продуктов или изделий, доходит до 30—35% от всего количества рабочих. Дальнейшее повышение требований к качеству и надежности изделий потребует

увеличения числа операций по контролю и измерению свойств и параметров в процессе изготовления изделий и по контролю правильности хода технологических операций.

Это приводит к созданию комплексов средств ИИТ, необходимых как для полного контроля всех требуемых свойств и параметров изделия в процессе его изготовления, так и для оперативного контроля за ходом производственного процесса и качеством продукции.

Таким образом, следует говорить о происшедшем качественном скачке в значении и использовании методов и средств ИИТ при научных исследованиях и построении технологических процессов. Надо также иметь в виду качественный скачок в развитии самих методов и средств ИИТ, где в процессы измерения, кроме самих операций измерения, органически включены операции передачи, хранения, обработки, регистрации и представления результатов измерения.

II. Все области техники можно разделить на три группы, связанные с тремя видами обобщенных продуктов, с которыми они имеют дело: с различными видами энергии, с различными видами веществ и различными формами информации. Первая группа включает области, связанные с получением энергии из ее природных источников, передачей, преобразованием, распределением и использованием разных видов энергий.

Вторая группа охватывает области техники, связанные с получением веществ из природных источников, транспортом, переработкой в различные продукты и изделия, их распределением и использованием.

Третья группа включает области техники, связанные с получением информации, ее передачей, преобразованием и обработкой, распределением и использованием.

Для процессов получения, передачи, преобразования, распределения и использования энергии наиболее важным является измерение энергетических характеристик и параметров процессов: механических (усилий, давлений, перемещений, скоростей, ускорений, мощностей, работы, механических сопротивлений, напряжений и т. д.); акустических (давлений, скоростей, частот, мощностей, акустических сопротивлений); тепловых (температуры, тепловых потоков, количества тепла, тепловых сопротивлений); оптических (яркости, освещенностей, световых потоков, длин волн); магнитных (напряженностей магнитного поля, магнитной индукции, магнитных потоков, потерь на перемагничивание и т. п.); электрических (напряжения, тока, мощности, энергии, частоты, фазы, электрического сопротивления); радиоактивных (состава излучения, интенсивности излучения, дозы излучения и т. д.).

Для процессов получения, переработки, распределения и использования веществ наиболее важным является измерение их физических и физико-химических свойств и состава: механических (плотности, вязкости, модуля упругости при сдвиге, критических напряжений разрыва, сжатия и сдвига, коэффициента Пуассона и т. п.); акустических (скорости звука, коэффициента поглощения, коэффициента отражения, коэффициента преломления); оптических (скорости света, коэффициента преломления, коэффициента отражения, коэффициента поглощения); тепловых (температуры плавления, температуры испарения, температурных коэффициентов линейного и объемного расширения, удельной теплоемкости, коэффициента излучения, коэффициента теплоотдачи и т. д.); магнитных (коэрцитивной силы, остаточной магнитной индукции, намагниченности, магнитной проницаемости, удельных потерь, температуры точки Кюри, критической напряженности магнитного поля для перехода из состояния сверхпроводимости, температурного коэффициента,

изменения магнитной проницаемости и т. д.); электрических (удельного сопротивления, диэлектрической проницаемости, критической напряженности поля при пробое, коэффициента изменения удельного сопротивления от температуры, давления, оптического излучения и других факторов, коэффициента изменения диэлектрической проницаемости от температуры, давления и т. п.); радиоактивных (состава излучения, периода полураспада, коэффициента поглощения, коэффициента отражения); физико-химических (pH ; pO ; потенциала поляризации и т. д.).

Выше перечислены в качестве примеров лишь некоторые важнейшие параметры, характеризующие энергетические характеристики физических процессов, физические и физико-химические свойства веществ. В реальных технологических процессах приходится контролировать и измерять как энергетические характеристики, так и физические и физико-химические свойства продуктов и изделий.

Для процессов получения, передачи, преобразования, распределения и использования информации необходимо: а) измерение энергетических или вещественных параметров носителей информации в зависимости от рода энергии или вида веществ, применяемых в качестве носителей сигналов; б) измерение информационных параметров и характеристик сигнала.

В зависимости от необходимости производится измерение различных информационных параметров и характеристик сигналов: измерение уровня и формы сигнала (или помехи); амплитудного, частотного и фазового спектров сигнала (или помехи); текущего значения непрерывного сигнала; производных и интегральных значений сигнала; суммы, разности, произведения или отношения нескольких сигналов; амплитуды, длительности, крутизны переднего (заднего) фронта импульсов.

Измерение информационных параметров и характеристик должно производиться при использовании в качестве носителей информации электрического тока, оптических, акустических и др. излучений.

III. Операция измерения состоит в сравнении неизвестного (измеряемого) значения данной физической величины с образцовым ее значением, принятым за единицу измерения.

В настоящее время широко используется предварительное преобразование измеряемой величины в другую, более удобную для сравнения. Такие преобразованные величины могут рассматриваться как «естественные сигналы», соответствующие значениям измеряемой величины.

Можно в известной мере облегчить построение средств ИИТ, если нормировать значение естественных сигналов в некоторых удобных по конструктивным соображениям пределах. Это, в частности, сделано при построении унифицированной системы датчиков для ГСП.

Однако не все «естественные сигналы» удобны для последующего использования, в особенности при построении ИИС. Наиболее удобными, с точки зрения передачи, преобразования, хранения, представления и регистрации, являются электрические сигналы. Иногда используют пневматические и реже гидравлические сигналы. Ведутся широкие исследования в области получения, передачи, преобразования, представления и регистрации оптических сигналов.

Наиболее часто используемые в настоящее время электрические сигналы разделяются

при аналоговой форме измерения и передачи

а) на непрерывные сигналы постоянного тока с изменяемыми значениями напряжения, тока;

б) на непрерывные сигналы переменного тока с изменяемыми значениями напряжения, тока, частоты, фазы;

в) на импульсные сигналы (постоянного или переменного тока) с изменяемыми значениями амплитуды, длительности импульса, длительности паузы, скважности (отношения длительности импульса к длительности паузы), частоты импульсов, числа импульсов;

при дискретной форме измерения и передачи

а) на импульсные сигналы с изменяемыми значениями числа импульсов;

б) на импульсные сигналы с изменяемым цифровым кодом (например, двоичным, десятичным и т. п.).

Целесообразно унифицировать (стандартизировать) предельные значения сигналов. Это позволяет совместно использовать приборы для измерения различных физических величин с типовыми устройствами телеизмерения, хранения и обработки информации, ее представления и регистрации.

В настоящее время принцип стандартизации сигналов широко используется для построения систем автоматического контроля, регулирования и управления. У нас в стране это положено в основу государственной системы приборов и средств автоматизации (ГСП). В странах СЭВ на этом принципе основана универсальная система регулирования, контроля и управления (УРС).

Используя различные виды естественных или унифицированных (стандартных) сигналов, можно построить самые различные варианты приборов и устройств для измерения одной и той же физической величины. Эти варианты будут отличаться точностью, пределами измерений, быстродействием, надежностью, габаритами, стоимостью, что позволяет выбрать для заданных условий и требований наиболее рациональный вариант измерительного прибора или устройства.

IV. Рассматривая физические принципы построения измерительных приборов и устройств, можно выделить следующие основные группы:

1. Для измерения энергетических параметров и характеристик используется любое из физических явлений и эффектов, при котором под влиянием измеряемого энергетического параметра происходит появление какого-либо «естественного сигнала»: механического, акустического, теплового, оптического, магнитного или электрического. Сравнивая появившийся «естественный сигнал» со значением меры измеряемой энергетической величины, можно определить измеряемое значение.

2. Для измерения физических параметров и свойств или состава веществ подается воздействие той же физической природы и определяется конечный эффект, который сравнивается с эффектом при том же воздействии на образцовом веществе, параметры и свойства которого известны. Наблюдаемые эффекты представляют собой «естественные сигналы», свойственные данному физическому явлению и удобные для наблюдения или дальнейшей передачи.

В качестве воздействий часто используются акустические, тепловые, электромагнитные, оптические, рентгеновские, нейтронные излучения; α -, β - и γ -излучения.

3. Для измерения энергетических параметров энергия подводится к веществу, какие-либо физические параметры которого существенно меняются под воздействием подводимой энергии. Изменение физических параметров используется как «естественный сигнал». Для выявления изменившихся физических параметров поступают, как в предыдущем случае.

4. Для измерения физических и физико-химических параметров и свойств или состава веществ применяют вспомогательные химические реакции, происходящие при использовании (добавлении, пропускании)

специальных реагентов, в результате чего значение какого-либо параметра или свойства вещества изменяется и становится легко измеряемым (на этом принципе основаны автоматические титраторы с оптическим или электрическим выходным сигналом и т. п.).

Для местных (локальных) измерительных приборов могут быть непосредственно использованы «естественные сигналы», если они поддаются наблюдению нашими органами чувств или преобразуются в другие сигналы, которые уже могут быть легко наблюдаемы.

В ИИС необходимо «естественные сигналы» использовать для формирования унифицированных (стандартных) сигналов. Для этого служат схемы формирования сигналов, в которых изменение значения «естественного сигнала» преобразуется в изменение значения амплитуды, частоты или фазы унифицированного (стандартного) сигнала.

Развитие физических принципов построения измерительных приборов и устройств состоит в привлечении новых физических эффектов и явлений, на основе которых могут строиться приборы 1, 2 и 3-й групп и новые вспомогательные химические реакции для построения приборов 4-й группы.

V. Одной из существенных особенностей современных измерений является их массовость. Часто измерения производятся во многих точках либо непрерывно, либо через короткие промежутки времени.

Получаемый объем измерительной информации настолько велик, что обработать, осмыслить и использовать ее обычными методами не представляется возможным.

Выходом является автоматизация процессов измерения, хранения, сбора, обработки и использования (представления и регистрации) результатов измерения. Обработка результатов измерения может состоять в привязке результатов измерения к месту и времени измерения, в оценке возможных погрешностей, нахождения усредненных и возможных граничных значений, в определении некоторых обобщенных величин, характеризующих изучаемый процесс в целом. Для обработки результатов могут быть использованы либо специализированные ЭВМ, либо, что делается чаще, универсальные ЭВМ. Для ввода данных в ЭВМ необходимы преобразователи аналоговых сигналов в цифровые. Это можно выполнить с помощью типовых преобразователей «аналог — цифра», если аналоговые сигналы от измерительных приборов и устройств являются унифицированными. В противном случае для каждого прибора будет требоваться свой преобразователь «аналог — цифра».

Цифровые сигналы (в выбранном коде, например, двоичном) должны быть также унифицированы для того, чтобы использовать типовые ЭВМ и выходные регистрирующие устройства и типовые устройства хранения результатов («устройства памяти»).

Важное место в ИИС должно занимать устройство представления и регистрации результатов измерения. Если при обычном использовании ЭВМ в технических и научных расчетах часто достаточно получить конечные результаты в виде колонок цифр или таблиц, то для ИИС существенно иметь результаты сразу в виде графиков или карт с нанесенными условными обозначениями и необходимыми количественными значениями. Это требует развития новых принципов построения приборов для демонстрации результатов, обладающих необходимой точностью и быстродействием, экономичностью, допустимыми габаритами. Возможно одновременное использование различных форм регистрации (например, вычерчивание графиков или карт, печатание таблиц и т. п.).

VI. Выше были рассмотрены основные моменты, характеризующие

значение и состояние ИИТ. Следует остановиться на важнейших задачах ее развития.

Первая группа задач состоит в развитии теории, принципов построения и методов расчета измерительных приборов и устройств, приборов и устройств для передачи, преобразования, обработки, хранения, регистрации и представления измерительной информации.

Здесь в первую очередь существенно дальнейшее развитие общей теории измерения и теории погрешностей при измерении, преобразованиях, обработке, хранении, регистрации и представлении результатов измерения.

Современную основу измерительной техники составляют электрические измерения и электрические измерения неэлектрических величин. Необходимо изыскание новых физических принципов для построения более точных, быстродействующих, надежных и экономичных измерительных приборов и устройств для электрических и неэлектрических величин. Требуется коренное (в 2—5 раз) расширение числа измеряемых физических и физико-химических величин.

Важно изыскание и разработка более точных, производительных, надежных и экономичных методов и средств передачи измерительной информации. Необходима разработка быстродействующих, точных, экономичных, малогабаритных и надежных средств преобразования, хранения и обработки измерительной информации. Требуется изыскание и разработка новых методов и средств представления и регистрации измерительной информации.

Наряду с развитием чисто электрических методов измерения неэлектрических величин необходимо изыскание новых методов и средств измерения с использованием других видов носителей информации, в первую очередь высокочастотных электромагнитных и оптических. Одновременно в связи с развитием лазеров должны разрабатываться методы и средства передачи измерительной информации по оптическим каналам, а также оптические методы преобразования, хранения и обработки информации. Необходимо развитие новых видов оптических средств представления и регистрации информации.

В связи с тем, что методы и средства измерения стали органической составляющей оснащения современных технологических процессов, необходимо создание комплексов измерительных средств для важнейших отраслей промышленности. Здесь важно нахождение методик выделения определяющих параметров при контроле технологических процессов и качества материалов, полуфабрикатов и изделий, оценка рациональных пределов, быстродействия, точности и надежности каждого из средств измерения, определение параметров, подлежащих прямому или косвенному измерению, рассмотрение технико-экономических вопросов выбора и использования средств измерения и контроля. Следует отметить, что требование к повышению качества и надежности промышленных изделий привело в некоторых случаях (Англия, ФРГ) к созданию типовых комплексов средств измерения и контроля для ряда технологических процессов.

Создание ИИС требует развития метрологических основ их построения, разработки основ построения и расчета ИИС с централизованным или иерархическим построением сбора и обработки информации, разработки теории процессов измерения и преобразования в ИИС, изучения динамики работы ИИС и динамических погрешностей. Должны разрабатываться методы синтеза и проектирования ИИС.

Необходима разработка универсальных систем сбора и обработки измерительной информации, для чего важно определение комплекса

типовых преобразователей измерительной информации; типовых каналов связи и коммутаторов, типовых устройств преобразования, хранения, обработки и представления данных. Эти устройства должны использовать сигналы и элементную базу, принятые для соответствующего поколения ГСП.

Наряду с этим требуется разработка специализированных систем сбора и обработки измерительной информации. Такие системы необходимы для океанологических, гидрометеорологических, геофизических и др. измерений. Эти специализированные системы сбора и обработки измерительной информации будут иметь свои особые комплексы первичных преобразователей и по возможности общие (по сигналам и элементной базе) устройства сбора, обработки и хранения информации. Специфическими могут быть устройства для представления и регистрации результатов измерений.

Приложение I

ВНЕШНИЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ (ИИТ)

I. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

1. Анализ состояния и тенденций развития ИИТ в различных областях научных исследований:
 - а) физика, физическая химия, химическая физика, химия;
 - б) геофизика, геохимия, гидрометеорология, океанология;
 - в) астрономия, космические исследования;
 - г) биология, медицина, биофизика, биохимия;
 - д) сельское хозяйство.
2. Анализ состояния и тенденций развития ИИТ в различных областях техники:
 - а) энергетика;
 - б) горное дело, нефте-газодобыча, металлургия, химия, производство строительных материалов, машиностроение;
 - в) сельское хозяйство, пищевая промышленность;
 - г) коммунальное хозяйство, транспорт;
 - д) связь, радиоэлектроника.

II. ПЛАНИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Методы анализа производственных процессов или продуктов и изделий, подлежащих измерениям.
2. Оптимальные алгоритмы операций по измерениям и обработке результатов.
3. Техничко-экономические вопросы измерений.

III. СОЗДАНИЕ (РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО) СЛЕДУЮЩИХ СРЕДСТВ ИИТ:

- 1) измерительных приборов и устройств для измерения отдельных физических, химических, биологических или технических параметров или характеристик;
- 2) комплексов средств (комплексов приборов, стендов, измерительных установок, станций) для параллельного или последовательного измерения или контроля всех необходимых параметров и характеристик данного технологического процесса или продукта и изделия;
- 3) измерительных информационных систем:
 - а) для типовых задач сбора, передачи, обработки и представления информации;
 - б) для специальных задач сбора, передачи, обработки и представления информа-

- ции (космических, океанологических, гидрометеорологических, биологических, медицинских и т. п.);
- 4) систем автоматического контроля для решения типовых и специальных задач;
 - 5) систем автоматической диагностики исправности технических систем для решения типовых и специальных задач.

Приложение II

ВНУТРЕННИЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

I. ОБЩИЕ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Совершенствование теории точности (теории статических и динамических погрешностей) при различных способах измерений, первичной обработки информации, преобразования информации, хранения информации, обработки информации, представления и регистрации результатов.
2. Дальнейшая разработка методов уменьшения внутренних помех и погрешностей в измерительных приборах, устройствах и ИИС.
3. Развитие общих методов повышения быстродействия, стабильности и надежности, срока службы, экономичности средств ИИТ.
4. Создание образцовых измеряемых величин.

II. РАЗВИТИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СРЕДСТВ ИИТ

Часть I

1. Составление кадастра физических явлений и эффектов.
2. Изыскание новых физических принципов построения измерительных преобразователей (датчиков).
3. Развитие существующих и разработка новых принципов первичной обработки измерительной информации (анализаторов) для освобождения от влияния посторонних факторов и помех, для первичной обработки и сжатия информации.
4. Совершенствование методов и средств сбора информации (параллельных, последовательных, комбинированных).
5. Дальнейшая разработка методов и средств передачи измерительной информации (по электрическим, оптическим и акустическим каналам связи).
6. Улучшение методов и средств хранения измерительной информации.
7. Развитие методов преобразования и обработки измерительной информации.
8. Развитие методов представления и регистрации результатов измерений.

Часть II

1. Унификация сигналов, источников питания, конструктивных решений при создании средств ИИТ.
2. Микроминиатюризация: а) первичных средств измерений (датчиков, анализаторов); б) средств передачи и обработки результатов измерений.

*Поступила в редакцию
28 января 1969 г.*