

К. Б. КАРАНДЕЕВ, М. П. ЦАПЕНКО
(Новосибирск)

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ АВТОМЕТРИИ

Научно-технический прогресс в Советском Союзе является следствием общесоциального прогресса, достигнутого благодаря победе Великого Октября. За 50 лет Советской власти наша страна сумела осуществить небывалую по темпам, исключительно высокую по уровню научно-техническую революцию. Все большее превращение науки в непосредственную производительную силу общества — вот одно из важнейших выражений этой революции.

Внедрение достижений науки в народное хозяйство, решающее их значение для дальнейшего технического прогресса особо зафиксированы в Программе КПСС. В частности, там отмечено, что в связи с задачами автоматизации производства первостепенное значение имеет разработка «автоматических и телемеханических систем, интенсивное развитие радиоэлектроники, разработка теоретических основ и техническое совершенствование вычислительных, управляющих и информационных машин» [1].

Успешные работы в этом важном направлении технического прогресса, обеспечивающем дальнейшее развитие научного эксперимента, повышение технического уровня любого производства, качества и надежности продукции, наконец, переход к комплексному управлению автоматизированным производством, во многом определяются своевременным сбором и достаточно точной количественной оценкой информации о происходящих явлениях.

В связи с существенным увеличением объема измерительной информации и повышением требований к ее качеству в усложнившихся условиях современного производства и научного эксперимента возникла необходимость в создании специальных кибернетических систем, способных автоматизировать процесс сбора и обработки информации, поступающей от разнообразных явлений материального мира [2—14]. Нужно подчеркнуть, что без развития автоматических измерений невозможно совершенствование промышленной автоматики, средств автоматизации научного эксперимента. Особенно резко проблема автоматизации получения измерительной и вообще количественной информации встала в последние годы в связи с космическими исследованиями, интенсификацией промышленного производства и огромным расширением фронта научного эксперимента.

Средства измерения, призванные решать эти проблемы, названы измерительными информационными системами (ИИС),

а научная дисциплина, которая должна обеспечить теоретический фундамент для рационального проектирования ИИС, получила название **автометрия** [2—4 и др.].

Автометрия по методам исследований может рассматриваться как одна из ветвей технической кибернетики, а своей целью она имеет автоматизацию сбора и обработки измерительной информации.

При создании любой ИИС необходимо собрать исходные сведения об исследуемом объекте, провести их анализ, обоснованно выбрать принцип построения оптимальных в заданном смысле процедур получения и обработки измерительной информации, всесторонне исследовать эти системы. Автометрия должна дать соответствующие методы и средства для решения этих задач, по существу определяющих рациональное планирование измерительного эксперимента и методов создания соответствующих ИИС.

Со времени начала исследований по автоматрии многое сделано в постановке и решении теоретических проблем, практической реализации ИИС и подготовке кадров.

Остановимся кратко на основных результатах в этом направлении, полученных главным образом в Советском Союзе.

В планах научно-исследовательских работ многих отраслевых НИИ, учебных институтов, институтов Союзной и Республиканских академий наук имеется большое количество тем по измерительным информационным системам.

В вузах введена специальность «Информационная измерительная техника».

Наряду с существовавшими ранее журналами «Измерительная техника», «Приборы и системы управления», «Приборостроение» (Известия вузов СССР), «Приборы и техника эксперимента», организован и издается с 1965 года журнал «Автометрия», в котором концентрируются публикации по теории и практике автоматических измерительных приборов и ИИС (журнал переиздается в США).

Ежегодно в Новосибирске проводятся Всесоюзные конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений, привлекающие внимание широкой научной и инженерной общественности Советского Союза и социалистических стран. В этих конференциях (их состоялось уже восемь) участвуют от 600 до 800 делегатов. Систематически организуются конференции по кибернетическим путям совершенствования измерительной аппаратуры в Ленинграде.

За последнее время появилось относительно много работ, посвященных исследованию проблем автоматрии*.

Увеличивается объем измерений, производимых в народном хозяйстве Советского Союза.

Помимо серийно выпускаемых ИИС для измерения, контроля и технической диагностики, разрабатывается довольно большое количество специализированных систем, предназначенных для исследования характеристик магнитных сплавов, прочности конструкций летательных аппаратов, проведения некоторых видов биологических исследований, испытания микроминиатюрных полупроводниковых элементов, массовых радиодеталей и др. Эти системы обладают очень высокой эффективностью. Так, например, разработанные в Институте автоматии и электро-

* В конце статьи приведен список литературы, посвященной общим вопросам, обзорам состояния и перспективам развития автоматрии и ее отдельных направлений (см. также подробную библиографию в указанных статьях, касающуюся более частных и специальных вопросов).

метрии СО АН СССР (ИАЭ) системы для воздушной геофизической разведки [15] были использованы в геофизических партиях Сибири, Казахстана, Киргизии. Применение только одного комплекта аппаратуры дает около 1 млн. рублей годовой экономии и заменяет работу восьмидесяти наземных партий.

Несколько слов о работах по ИИС за рубежом. В последние годы начаты теоретические работы по теории измерений и ИИС в социалистических странах. В Словацкой Академии наук ЧССР создан специальный институт теории измерений. Вопросами теории измерений занимаются также институты академий наук Польши, Венгрии, ГДР и др. ИАЭ в этом направлении проводит с ними несколько совместных работ. В наиболее развитых капиталистических странах ИИС получили широкое распространение. В США выпуском ИИС занимается 21 фирма и рекламируется 69 типов систем. Фирмой Солартрон (Англия) за последние два года выпущено более 300 измерительных систем, обладающих в ряде случаев весьма высокими метрологическими и эксплуатационными характеристиками. В то же время обращает на себя внимание отсутствие сведений о широких и систематических теоретических исследованиях, освещающих перспективные методы создания и совершенствования средств получения количественной информации.

Перейдем к краткой характеристике основных научных результатов, полученных в области автометрии. Сейчас можно более или менее четко различать два основных направления научных исследований. Первое связано с созданием и исследованием измерительных элементов, без которых невозможно построение любой ИИС, второе — с созданием теоретических основ построения этих систем в целом.

ЭЛЕМЕНТЫ ИИС

Среди средств измерения и контроля центральное место занимают и будут занимать устройства, основанные на электрическом принципе действия. Объясняется это тем, что ныне с помощью электрических средств могут быть измерены практически все физические величины; методы и средства электрометрии достигли весьма высокого совершенства: они обладают высокой точностью, чувствительностью, быстродействием и большой гибкостью в смысле широких возможностей преобразования, обработки и передачи электрических сигналов, а также экспериментальными удобствами. Все это дает основание утверждать, что прогресс ИИС лежит в развитии и использовании идей электрометрии.

По нашему мнению, ключевыми для электрометрии (применительно к рассматриваемому кругу вопросов) являются исследования, связанные с первичными измерительными преобразователями (датчиками), электроизмерительными цепями и автоматическими аналого-цифровыми преобразователями.

Созданием большого количества разнообразных датчиков занимаются многие организации. В то же время до сих пор справедлива мысль академика А. А. Харкевича, высказанная им в 1948 году: «Создалась печальная картина, когда каждый новый преобразователь описывается на основе частных методов анализа, подобранных специально для него без связи с остальными, многие общие для всех преобразователей истины каждый раз выводятся как нечто новое». Ликвидировать такое положение могла бы только общая теория преобразователей.

Основы такой общей теории были заложены в книге А. А. Харкевича «Теория преобразователей», которая сохранила большое практическое и теоретическое значение до сего времени, несмотря на то, что в ней обобщены главным образом материалы по электроакустическим преобразователям. Многие положения этой работы необходимо распространить на неэнергоёмкие параметрические датчики, следует разработать эквивалентные схемы датчиков (подобно тому, как это сделано для электрических четырёхполюсников), усовершенствовать методы улучшения динамических и метрологических свойств датчиков и т. д. [16].

Эти проблемы разрабатываются во многих научных организациях: в ИАТ (ТК), НИИТеплоприборе, ВНИИЭПе, Ин-те автоматки АН КиргССР, Куйбышевском политехн. ин-те (КуйбПИ), Львовском политехн. ин-те (ЛьвПИ), Физико-механическом ин-те (ФМИ) и др. [16—19].

В ИАЭ проведены исследования чувствительности и динамических свойств первичных преобразователей. Предложены методы расчета динамических погрешностей наиболее распространенных преобразователей при измерении действующего значения периодических сигналов произвольной формы, разработаны основы теории индукционных накладных датчиков, предназначенных для неразрушающего контроля качества материалов и изделий и бесконтактных измерений электромагнитных параметров веществ.

Многое сделано по использованию новых физических явлений и эффектов (радиоактивные излучения, эффект Мессбауэра и т. п.) для создания новых типов датчиков. Однако, не останавливаясь на этом подробно, следует отметить, что в дальнейшем необходим более тесный научный «симбиоз» специалистов-измерителей с физиками и химиками.

Сравнение электрических сигналов от датчиков с образцовыми величинами и ряд операций первичной обработки этих сигналов выполняются с помощью электроизмерительных цепей. Теория и практика таких цепей имеют, бесспорно, большие достижения. Крупные результаты получены по мостовым методам измерения параметров электрических цепей [20—24]. Разработаны методы анализа и решены некоторые вопросы синтеза таких цепей, обладающих заданными характеристиками. Имеет большие достижения теория мостовых цепей переменного тока, предназначенных для раздельного измерения комплексных электрических параметров (ЛьвПИ, ИАЭ, ФМИ, ВНИИМ, ИАТ (ТК), МЭИ и др.). Проведены исследования сходимости мостовых цепей (ЛьвПИ и др.), связи чувствительности с погрешностью (ЛьвПИ, ИАЭ и др.), особенностей автоматизации мостов переменного тока (ЛьвПИ, ИАЭ, ИАТ (ТК) и др.), повышения точности измерительных мостов и др. Серьезным вкладом в теорию электроизмерительных цепей являются результаты исследований, приведших к разработке квазиуравновешенных мостовых цепей (ФМИ, ИАЭ и др.), к развитию мостовых цепей с тесной индуктивной связью между элементами, автокомпенсационных мостовых цепей и т. п. На основе этих теоретических исследований созданы многочисленные первоклассные автоматические и неавтоматические мостовые измерительные приборы, выпускаемые отечественной промышленностью.

Трудами советских ученых по мостовым измерительным цепям создана советская школа, имеющая мировое значение (КуйбПИ, ЛьвПИ, ВНИИМ, ИАЭ, МЭИ, КПИ, Институт электродинамики (ИЭ) АН УССР и др.).

Довольно глубоко изучены компенсационные методы измерения постоянных и синусоидальных напряжений и токов (Институт нефти и химии, МЭИ, ИАЭ, ЛПИ, КПИ, ИЭ АН УССР, ФМИ и др.).

В настоящее время проводятся исследования электроизмерительных цепей, предназначенных для измерения характеристик несинусоидальных периодических и непериодических напряжений и токов, нелинейных пассивных элементов электрических цепей, отдельного измерения нескольких взаимосвязанных параметров. Кроме того, развивается изучение принципов построения цепей, объединяющих измерительные и вычислительные функции (ИАЭ и др.).

Несомненно, дальнейшее развитие работ по электроизмерительным цепям имеет важное значение для успешного создания современных измерительных систем.

Автоматически действующие аналого-цифровые преобразователи относятся к одним из наиболее важных элементов ИИС [25—29 и др.]. В настоящее время разработана основная теория построения таких устройств (МЭИ, ИАЭ, МАИ, Институт кибернетики (ИК) АН УССР, ЛьвПИ, ЛПИ, ВНИИЭП и др.), серийно изготавливаются аналого-цифровые преобразователи и на их базе — цифровые измерительные приборы, предназначенные для измерения напряжений постоянного тока, частоты и фазы переменного тока. Близки к промышленному изготовлению оригинальные измерители действующего значения переменного тока в широком диапазоне частот (ИАЭ). Созданы новые автоматические цифровые мосты переменного тока (ИАЭ), позволяющие производить измерения комплексных параметров элементов электрических цепей с точностью и быстродействием, недоступными для других типов электроизмерительных приборов (например, мост типа Р-570, выпускаемый заводом «Точэлектроприбор»).

Можно предполагать, что в ближайшее время основные электрические величины и процессы будут измеряться цифровыми измерительными приборами. Нужно сказать, что в научном смысле по цифровым измерительным приборам и преобразователям предстоит провести большую работу, особенно в связи с созданием приборов с перестраиваемой структурой и т. д.

По нашему мнению, важное значение для дальнейшего развития элементов ИИС имеют исследования, направленные на их микроминиатюризацию [30].

Далее попытаемся дать краткую характеристику результатам исследований по теоретическим основам построения ИИС, а также наметить перспективы их развития.

Основными типами ИИС являются системы измерения, контроля и технической диагностики. В соответствии с этим ниже рассмотрим отдельно проблематику, относящуюся к процессам измерения, контроля и технической диагностики. Мы отдаем себе отчет в том, что при таком изложении материала в какой-то степени затушевывается общность, и взаимная связь между этими, безусловно, родственными видами процессов и средств получения информации, но мы считаем, что проблематика общей теории ИИС заслуживает особого рассмотрения.

ИЗМЕРЕНИЯ

В последние годы интенсивно проводились исследования информационных свойств, оценки чувствительности, быстродействия, надежности методов и средств измерений [2, 31 и др.].

Наибольшее внимание исследователей привлекли информационные характеристики результатов измерений, количественно оценивающие информацию, получаемую от исследуемых объектов или

явлений [2, 3, 9, 14, 32, 33 и др.]. Введение таких информационных оценок позволяет учитывать одновременно несколько характеристик ИИС (в частности, таких, как диапазон измерения, цена деления, статистические свойства измеряемой величины и погрешности). При определении количества информации учитываются не только статистические свойства средств измерения, но и источников информации. В связи с этим успешно решается задача о наилучшем согласовании свойств объектов исследований и средств получения информации. В настоящее время имеется возможность проектировать измерительные средства таким образом, чтобы при заданных метрологических характеристиках получаемое с их помощью количество информации было наибольшим.

Несмотря на то, что информационным анализом (ИАЭ, ЛПИ, МЭИ, ЛИАП, ФМИ и др.) охвачен весьма широкий круг измерительных задач, было бы совершенно неправильно говорить как об отсутствии постановки новых задач, так и об окончательной полноте имеющихся решений. Как правило, результаты были получены при существенных ограничениях и относятся в основном к идеализированным моделям средств измерения, учитывающим независимость измерений. Еще в малой степени изучен вопрос о взаимоотношениях энергетических характеристик ИИС с их информационными характеристиками.

Важное значение для измерений имеет оценка чувствительности измерительных средств к измеряемым величинам и мешающим воздействиям. Изучены достаточно детально (ЛьвПИ, ИАЭ, МЭИ, ЛПИ, КПИ и др.) вопросы чувствительности электроизмерительных цепей. В настоящее время необходима разработка методов оценки чувствительности сложных измерительных цепей, содержащих много элементов, и обобщение известного материала.

Обеспечение надежности измерительных приборов и систем является одной из актуальных, но далеко не решенных проблем [34—36 и др.]. Например, по данным ОКБА химической промышленности, для производства нужны измерительные приборы и системы, обладающие сроком службы в несколько тысяч часов, а ныне существующие приборы и системы имеют надежность на 1—2 порядка ниже.

Основная особенность надежности ИИС заключается в необходимости учета постоянного измерения параметров элементов, которые являются главной причиной выхода системы из установленной границы точности. Для устранения действия таких отказов простое дублирование элементов не дает нужного эффекта. В связи с этим необходимо проводить исследования по установлению количественных характеристик сохранения достоверности выходной информации ИИС и по разработке методов построения ИИС, обладающих заданной надежностью.

Оценка быстродействия обычно нужна для согласования динамических показателей средств измерения с динамическими свойствами измеряемых величин с целью уменьшения динамических погрешностей. Получены результаты (ИАЭ, ЛПИ и др.), позволяющие учесть в одном комплексном показателе влияния как статических, так и динамических характеристик средств измерения, а также находить оптимальные отношения между ними. Сейчас четко наметилась тенденция оценки быстродействия измерительных систем в среднем с учетом статистических свойств измеряемых величин и помех. Это позволяет искать методы, минимизирующие среднее время измерения. Эта проблема заслуживает дальнейших исследований.

Неоспорима важность комплексных оценок, позволяющих сравнивать между собой средства измерения, обладающие различной погрешностью, чувствительностью, быстродействием, надежностью и

сложностью. К сожалению, проблема разработки таких оценок далека от своего завершения. В то же время мы убеждены в том, что без наличия комплексных оценок, устанавливающих связи между различными характеристиками, невозможно научно обоснованное проектирование измерительных систем.

Существенно пополнились знания по методам прямых измерений. Особое внимание уделялось исследованию методов автоматического уравнивания измеряемых величин (ИАЭ, ЛПИ, ПензПИ, ИК АН УССР, ИЭ АН УССР и др.). Начаты работы по формальному описанию процессов измерения (ИАЭ, МАИ, ЛЭТИ и др.). По-видимому, наступил период обобщения и более глубокого осмысливания методов прямого измерения.

Значительно менее исследованы методы косвенных и совокупных измерений. Основной проблемой здесь является обоснование рационального объединения процессов обработки и измерения. В случае использования результатов прямых измерений и последующей обработки измерительной информации на цифровых вычислительных машинах для получения результатов косвенных и совокупных измерений необходима разработка соответствующих алгоритмов. Если же обработка производится аналоговыми вычислительными устройствами до измерения, то возникают проблемы оптимального построения цепей, производящих одновременно эти процессы. Такая задача решается в настоящее время в связи с удовлетворением конкретных требований (ИАЭ, ЛьвПИ, МЭИ и др.).

При любом измерении необходимо получить новую информацию о предмете исследования или, иными словами, уточнить первоначальную модель этого предмета, и лучшим образом проводить последующие измерения. В связи с этим в принципе может быть поставлена проблема «осмысливания» получаемой информации с целью выявления новых, неизвестных до измерения закономерностей, действующих в исследуемых объектах [37].

Нам представляется полезным более четко сформулировать и поставить эту проблему, особенно в связи с возможностями создания адаптивных, обучающихся измерительных систем, систем, использующих предсказание и т. п. Весь комплекс этих исследований в настоящее время в автоматрии разработан слабо. Имеются лишь некоторые частные решения по отдельным вопросам (МЭИ, ИАЭ, ИК АН УССР и др.).

Существенное развитие получили методы борьбы со случайными и систематическими погрешностями и в первую очередь за счет разумного использования информационной и структурной избыточности (ЛПИ, ЛИАП, ИАЭ, ФМИ и др.). Однако необходимо продолжать работу в этом актуальном направлении.

При измерении и контроле изменяющихся во времени величин весьма важным является обоснование необходимого числа измерений (квантование исследуемых параметров), обеспечивающего заданную точность. Нужно заметить, что аналогичные задачи возникают при исследовании пространственно распределенных параметров.

От измерительной системы к потребителю информации поступает набор квантованных по уровню или пространству отсчетов, полученных в определенные моменты времени. Естественно, что непосредственная информация об измеряемой величине в промежутках между измерениями ее значений отсутствует. Поэтому правильный выбор числа измерений в единицу времени совершенно необходим, так как небольшое количество измерений может привести к грубым ошибкам, а резкое увеличение числа измерений — к усложнению аппаратуры.

Способы дискретизации по времени развиваются в двух направлениях. К первому относятся способы, при которых интервал квантования постоянен. Это направление довольно хорошо разработано (ИАТ (ТК), МЭИ, ЦНИИКА, ИАЭ, ВНИИМ и др.). Получены, в частности, рекомендации по выбору частоты измерений при различных алгоритмах последующей обработки данных. По нашему мнению, в дальнейшем следует проводить исследования в области учета влияния квантования по уровню и иных видов погрешностей на процесс квантования по времени, оценить их влияние на эффективность обработки и сложность устройств.

Второе направление связано с использованием переменных интервалов времени между отсчетами, что позволяет резко сократить избыточность измерительной информации. Исследования по адаптивной дискретизации стали интенсивно развиваться в последние годы и дали ряд интересных результатов (МЭИ, ЛИЭС, ИАТ (ТК) и др.). В ИАЭ предложены алгоритмы адаптивной дискретизации, обладающие малой чувствительностью к реальным случайным помехам и значительным коэффициентом сжатия. Так, при обработке по этим алгоритмам сигналов, получаемых при геофизической магнитной аэроразведке, был достигнут коэффициент сжатия порядка 25.

Экспериментальные исследования очень часто связаны с определением статистических характеристик переменных величин, имеющих случайный характер, а также случайных процессов и полей. В этих случаях задачи статистических исследований обычно сводятся к экспериментальному определению математических ожиданий и корреляционных функций, которое производится с помощью специальной статистической аппаратуры (см., например, [38]).

Для корреляционного анализа в первую очередь оказались необходимыми исследования погрешностей корреляционных систем. В ИАЭ проведена работа, позволившая установить общие характерные особенности инструментальных погрешностей корреляционных систем и ошибок, вызываемых внешними воздействиями. Здесь же было предложено использовать статистические характеристики для увеличения динамической точности измерительных приборов и для решения задач, связанных с измерением в недоступных точках.

В настоящее время для экспериментального определения характеристик случайных процессов в ИАЭ создано несколько типов автоматических устройств, предназначенных для определения корреляционных функций стационарных и нестационарных процессов.

Наконец, следует остановиться на методах построения структур измерительных систем.

Разработка структур, принципиальных и более детальных схем как универсальных, так и специализированных измерительных систем представляет весьма трудную задачу. Существенное уменьшение затрат на проектирование и изготовление таких систем может быть достигнуто при использовании набора универсальных измерительных блоков (в соответствии с ГСП) и рекомендаций по построению из них систем, выполняющих заданные функции с определенными характеристиками. По нашему мнению, нужно значительно ускорить эту работу в масштабе Советского Союза.

Перспективным направлением, связанным с уменьшением трудоемких работ по созданию средств измерения (ИК АН УССР), является автоматизация проектирования измерительных систем. Пока здесь сделаны первые шаги. Но можно утверждать, что в дальнейшем будет увеличиваться применение вычислительных устройств при проектировании измерительных систем.

КОНТРОЛЬ

В настоящее время значительно расширилась сфера применения приборов и систем автоматического контроля, и возросли требования

В области автоматического контроля главное внимание было обращено на создание многочисленных специализированных систем автоматического контроля, а также универсальных систем этого рода. Промышленностью выпускается несколько типов универсальных систем автоматического контроля МАРС, «Цикл», «Зенит» и др. [9]. Ныне все большее внимание привлекает идея создания набора универсальных блоков, из которых можно создавать приборы и системы автоматического контроля любого назначения и сложности.

Для удовлетворения всевозрастающих требований к функциональным возможностям и эксплуатационным характеристикам систем автоматического контроля большое значение имеют теоретические работы. К сожалению, теория автоматического контроля серьезного развития в последние годы не получила. Здесь можно отметить лишь исследования, связанные с выявлением основных структур систем автоматического контроля (МЭИ, ИАЭ), с улучшением действия устройств контроля за счет получения более полной информации о контролируемых параметрах, некоторую доработку вопросов организации контроля распределенных параметров, определение допусков и необходимого объема выборки при контроле (МЭИ, ВНИИЭП, ЛьвПИ, ИАЭ и др.).

В дальнейшем изложении мы остановимся на проблемах автоматического контроля, которые сейчас либо разрабатываются, но не завершены, либо находятся только в стадии постановки.

Теория автоматического контроля сейчас должна считаться с результатами исследований, полученными в области теории опознания образов [41]. В частности, это относится к методам выявления отличительных признаков образов и математического их описания. Конечно, здесь нужно учитывать специфику использования этих результатов в приложении их к проблемам экспериментального определения нормированного (заданного) состояния технических объектов или явлений [ИАТ (ТК)]. В конечном счете такое состояние является образом, который и следует различать при автоматическом контроле.

Необходимо проводить исследования структур систем автоматического контроля. В этой связи большой интерес представляет изыскание новых методов и средств, рационально объединяющих операции обработки, измерения и контроля. Средства обработки могут иметь как цифровой, так и аналоговый характер. Нужно обратить внимание на применение аналоговых средств обработки в системах контроля, позволяющих относительно просто получать результаты контроля в реальном времени. Предстоит также большая исследовательская и конструкторская работа, в результате которой должны быть определены состав и характеристики набора универсальных блоков, даны научно обоснованные рекомендации по структурам и функциям систем, использующим эти блоки. Нужно продолжать исследования систем автоматического контроля, основанных на использовании различных методов преобразования информации.

Весьма важными являются работы по созданию методов и средств представления контрольной информации (мнемосхемы, цифровые индикаторы, сигнальные устройства), обеспечивающих наилучшее взаимодействие устройств автоматического контроля и человека-оператора. Такие методы и устройства должны строиться с учетом достижений инженерной психологии [41 и др.].

При неполной информации о контролируемом явлении, не позволяющей априори описать его норму, возникает проблема создания обучающих систем автоматического контроля. Решение этой проблемы, к сожалению, находится только в самой начальной стадии.

Серьезное развитие должны получить системы, предназначенные для контроля полей параметров (механических, температурных, электрических, световых, полей давления, концентрации и т. д.). Помимо сканирующих систем автоматического контроля [ИАТ(ТК)], получают распространение системы параллельного действия, обеспечивающие наибольшее быстродействие и возможность обработки информации без «запоминания». Дальнейшее повышение надежности систем автоматического контроля связано с использованием микроминиатюризации. Весьма важной остается проблема сопоставления между собой по обобщенным критериям систем автоматического контроля, основанных на различных принципах действия.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Одним из рациональных путей повышения эффективности действия сложных технических систем и уменьшения времени их простоя из-за неисправностей является автоматизация диагностики их состояния [8, 9, 14, 42 и др.]. Областью применения технической диагностики является заводской контроль определения состояния вновь изготовленных систем и поиск неисправностей технических систем в процессе их эксплуатации. Диагностическая информация используется также и для прогнозирования дальнейшего поведения исследуемых систем.

Приведем несколько цифр, характеризующих важность работ в области технической диагностики. Современные технические системы содержат большое количество элементов. Так, например, система управления американской межконтинентальной ракеты «Атлас» имеет 300 тысяч элементов. При таком количестве элементов возникают серьезные трудности в поиске неисправных элементов и восстановлении работоспособности такой сложной аппаратуры. Достаточно сказать, что по подсчетам, произведенным американскими инженерами, затраты на восстановление аппаратуры военного назначения примерно в 10—1000 раз превышают ее первоначальную стоимость. В результате обработки большого объема статистической информации было установлено, что около 80% общего времени, потраченного на восстановление работоспособности таких сложных систем, расходуется на поиск неисправных элементов. Отсюда нам кажется ясным стремление к созданию автоматически действующих систем технической диагностики, позволяющих за короткое время определить место неисправности или прогнозировать возможность ее появления.

Как в Советском Союзе, так и за рубежом создаются автоматические системы технической диагностики преимущественно для автоматической проверки работоспособности и поиска неисправностей в изделиях радиоэлектронной и электротехнической промышленности (имеются системы и для диагностики изделий других отраслей производства).

Нужно заметить, что диагностика состояния радиоэлектронных устройств производится на основе анализа результатов измерения постоянных и переменных напряжений, токов, частот, сопротивлений, формы и спектра сигналов, временных задержек и фазовых сдвигов.

В настоящее время в США годовой выпуск систем технической диагностики в денежном выражении составляет около 400 млн. долларов. Ожидается, что эта сумма существенно возрастет. В США только для военных целей изготовлено и используется свыше ста типов систем технической диагностики. Эти системы обладают большим быстродействием. Так, например, система «Фасти» производит диагностику состояния ракеты «Атлас» в среднем за 15 минут.

Несмотря на успехи, достигнутые в области конструирования систем технической диагностики, теория этих систем практически еще не разработана. Одной из основных задач разработки теории этих систем является построение и исследование аналитических моделей с учетом всех факторов, влияющих на достоверность и надежность работы. Сюда также относятся исследования влияния точности измерений, осуществленных в процессе диагностики, на результаты диагноза. Особое внимание нужно уделить вопросам синтеза структур систем технической диагностики и выбора конструкции элементов этих структур.

Весьма большое значение имеет решение вопросов о рациональной степени автоматизации работ систем технической диагностики. По-видимому, разумно часть операций диагностики возложить на оператора.

Одной из нерешенных задач теории систем технической диагностики является разработка рациональных способов самоконтроля этих систем. Нужно отметить, что очень часто современные технические системы проектируют без учета требований диагностики. Главным образом это проявляется в отсутствии необходимого числа подготовленных для сбора контрольной информации точек.

Задача построения оптимальных диагностических программ поиска неисправностей является одной из основных в технической диагностике. Применение известных математических методов позволило избежать полного перебора всех возможных программ и значительно сократить число операций диагностики (ИАТ (ТК), ИАЭ и др.). Так, в частности, при использовании методов динамического программирования это число для систем из 20 элементов сокращается примерно на миллион операций.

Мы считаем, что ближайшими задачами являются разработка инженерных методов определения числа и состава контролируемых параметров и построение программ диагностики, близких к оптимальным, оценка их эффективности, исследование самооптимизирующихся программ и создание методов синтеза систем технической диагностики.

БИОНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Нам хотелось бы остановиться на весьма перспективном направлении исследований, связанном с изучением биологических анализаторов и использованием выявленных закономерностей с целью совершенствования ИИС [2, 3, 14, 43, 44 и др.].

Известно, что биологические анализаторы превосходят измерительные средства по чувствительности, быстродействию, надежности, динамическому диапазону, экономичности использования пространства и энергии. Поэтому имеется уверенность в плодотворности использования функциональных и структурных особенностей биологических анализаторов для создания новых средств измерения.

Первое направление такой работы предполагает изучение функциональных и структурных особенностей биологических анализаторов, их элементов и использование полученных данных при создании новых методов, средств и элементов ИИС. Несмотря на трудности во взаимодействии биологии и техники, все-таки уже получены заслуживающие внимания результаты, относящиеся главным образом к использованию в технических средствах измерения особенностей, специфических для слухового и зрительного анализаторов биологических систем (ИППИ, ИАТ(ТК), ИК АН УССР и др.).

Значительно хуже изучен обонятельный анализатор. Однако исследованиям механизма запаха и его моделированию в настоящее время уделяется определенное внимание. Исследования в ИАЭ позволили наметить пути создания новых средств газового анализа.

Накопленные сведения о структурных особенностях биологических анализаторов (большая структурная избыточность и первичная обработка сигналов в их периферической части и т. д.) дали возможность поставить научные работы, связанные с уменьшением случайных и систематических погрешностей за счет использования структурной избыточности, с разделением взаимосвязанных параметров и получением обобщенных характеристик полей параметров (ИАЭ). Имеющиеся в этом направлении результаты могут открыть перспективы для построения новых структур ИИС.

Вторым направлением бионических исследований для автотрии является создание комбинированных систем, в которых восприятие и первичная обработка информации осуществляются живыми организмами, а дальнейшая обработка поручается техническим средствам. Исследования в этой области только начинают развиваться, но можно предполагать, что скоро будут созданы комбинированные системы, пригодные для практического использования.

Конечно, мы далеко не полностью охарактеризовали современное состояние методов оценки и построения ИИС, хотя считаем их весьма важными. Так, например, проводятся исследования по созданию ИИС с переменной структурой, изучаются особенности обмена энергией между объектом исследования и ИИС, выясняются возможности применения методов оптимального управления с целью повышения быстродействия ИИС и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нам представляется полезным отметить следующие основные направления исследований в области автотрии:

- 1) создание новых специфических элементов ИИС, к которым прежде всего относятся первичные измерительные преобразователи (датчики), рабочие и образцовые меры и измерительные цепи;
- 2) исследование принципов построения приборов и систем, обладающих заданными метрологическими и эксплуатационными характеристиками (нужно обратить внимание на рациональное сочетание методов измерения и обработки измерительной информации);
- 3) совершенствование статистических методов анализа и синтеза средств измерения, контроля и диагностики;
- 4) дальнейшая автоматизация получения измерительной, контрольной и диагностической информации, связанная с использованием современных достижений теории автоматического управления с учетом специфики ИИС;

5) полезные для ИИС исследования биологических анализаторов.

В конечном счете результаты исследований в области автометрии должны послужить научной базой для построения измерительных, контрольных и диагностических приборов и систем общего назначения, приборов и систем, являющихся частью систем автоматического управления или обеспечивающих автоматизацию научных экспериментов.

Обилие практических реализаций ИИС и несомненная важность выполняемых ими функций подтверждают насущную необходимость дальнейшего развития общей теории их построения — автометрии. Мы убеждены, что получение полезных результатов в этом направлении имеет большое научное и народнохозяйственное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXII съезда КПСС. М., Госполитиздат, 1962.
2. К. Б. Карандеев. Информационные измерительные системы и автоматика.— Вестник АН СССР, 1961, № 10.
3. М. П. Цапенко, Ф. Б. Гриневич, Б. М. Пушной, А. К. Романов, Б. С. Синицын. Измерение и кибернетика.— Автоматический контроль и методы электрических измерений (Труды III конференции, 1961 г.), т. I. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.
4. К. Б. Карандеев. Измерения и автоматизация умственного труда.— Измерительная техника, 1962, № 3.
5. Fritz Heuweg. Meßtechnik und Automatisierung.— Elektro-Anz. Ausg. Ind., 1964, Bd. 17, № 6.
6. В. О. Арутюнов, Л. М. Закс, А. И. Ивлев. Функции и задачи современной метрологии.— Измерительная техника, 1964, № 11.
7. К. Б. Карандеев. Измерения и прогресс.— Автометрия, 1965, № 1.
8. Б. В. Карпюк, М. П. Цапенко. Об измерительных информационных системах.— Автометрия, 1965, № 2.
9. Г. И. Кавалеров, Б. В. Карпюк, С. М. Мандельштам, В. И. Рабинович, М. П. Цапенко. Измерительные информационные системы.— Обобщенный доклад на II приборостроительной конференции. Л., 1965.
10. G. McNisk'Alvin. Metrology Essential Science of the Space Age.— Sci. Horizons, 1965, № 64.
11. U. Kirschner. Messen und Prüfen — die Basis des Automation.— Schweiz. Maschinenmark. 1966, Bd. 66.
12. И. И. Новиков. Основные направления развития метрологии на ближайшее пятилетие.— Измерительная техника, 1966, № 1.
13. К. Б. Карандеев, М. А. Розов. О методологических проблемах автометрии.— Автометрия, 1967, № 3.
14. К. Б. Карандеев, М. П. Цапенко. Очерки теории и практики измерительных информационных систем.— В сб.: «Кибернетику на службу коммунизму», т. 4. М., «Наука», 1967.
15. К. Б. Карандеев, Г. А. Штамбергер. Измерительные информационные системы для геофизических исследований.— Вестник АН СССР, 1965, № 2.
16. Л. Д. Гик, А. Г. Козачок. К вопросу о теории первичных измерительных преобразователей.— Автометрия, 1967, № 3.
17. Р. Р. Харченко. Аналоговые измерительные преобразователи.— Автометрия, 1965, № 1.
18. Г. И. Кавалеров, В. В. Ковалевская. Первичные измерительные преобразователи (датчики), выпускаемые фирмами США.— Приборостроение, 1966, № 10.
19. Л. Д. Гик. Развитие виброметрии.— Автометрия, 1967, № 5.
20. А. Л. Грохольский, К. М. Соболевский. Мосты переменного тока с индуктивно связанными плечевыми элементами.— Автометрия, 1965, № 1.
21. К. М. Соболевский. Электроизмерительные цепи уравнивания и элементы их общей теории.— Автометрия, 1965, № 2.
22. Ф. Б. Гриневич, Е. Е. Добров, К. Б. Карандеев. Автокомпенсационные мостовые цепи.— Автометрия, 1965, № 5.
23. В. А. Красиленко, Б. Н. Панков, В. С. Соболев, К. М. Соболевский. Принципы построения цепей для измерения пассивных электрических параметров (обзор).— Автометрия, 1967, № 5.

24. Ф. Б. Гриневич. Применение экстремального регулирования и параметрической регуляции при построении автоматических электроизмерительных устройств.— *Автометрия*, 1965, № 2.
25. А. Н. Касперович, И. Ф. Клисторин, М. П. Чапенко. Автоматические цифровые электроизмерительные приборы.— *Автометрия*, 1965, № 1.
26. Цифровые приборы и аналого-цифровые преобразователи. Библиография (201 наименование).— *Автометрия*, 1966, № 2.
27. Karl Homilius. Digitales Messen.— *Arch. techn. Messen*, 1965, № 356.
28. И. Ф. Клисторин. Цифровые вольтметры действующих значений (Обзор принципов построения и перспективы развития).— *Автометрия*, 1966, № 2.
29. А. М. Мелик-Шахназаров. Основные задачи электрических измерений глубинных параметров скважин.— *Автометрия*, 1965, № 4.
30. А. И. Ильенков, М. П. Чапенко. Измерительная техника и микроминиатюризация.— *Автометрия*, 1965, № 6.
31. М. А. Земельман, В. И. Кипаренко. Состояние и задачи метрологии измерительных информационных систем.— *Автометрия*, 1967, № 5.
32. П. В. Новицкий. Использование кибернетических понятий в теории электроизмерительных устройств.— *Измерительная техника*, 1962, № 1.
33. Е. Г. Шрамков, Г. И. Кавалеров, П. В. Новицкий. Первоочередные направления разработки общей информационной теории измерений.— *Измерительная техника*, 1963, № 9.
34. V. S. Sotskoff. Reliability of instruments.— *Acta IMEKO*, I. Будапешт, 1964.
35. Б. В. Карпюк. О надежности измерительных информационных систем.— *Автометрия*, 1967, № 3.
36. А. И. Губинский. Современное состояние проблемы надежности контрольно-измерительной аппаратуры.— *Автометрия*, 1967, № 5.
37. Б. М. Пушной. Обработка информации в измерительных системах.— *Автометрия*, 1967, № 5.
38. Б. С. Синицын. Состояние и перспективы развития корреляционных методов измерений.— *Автометрия*, 1965, № 1.
39. Ф. Е. Темников. Современные тенденции в развитии систем автоматического контроля.— *Автоматический контроль и методы электрических измерений* (Труды V конференции), т. 2. Новосибирск, «Наука», 1966.
40. Heinrich Goeller. Die Aufgaben der Meß- und Regelungstechnik im Rahmen der industriellen Produktion.— *Ind.—Anz.*, 1965, Bd. 87, № 77.
41. В. Ю. Кнеллер. Измерение и контроль.— *Измерительная техника*, 1963, № 3.
42. А. И. Губинский, Г. И. Кавалерсв, А. А. Крылов, Б. Ф. Ломов. О роли инженерной психологии в современном приборостроении.— *Приборостроение*, 1966, № 4.
43. В. И. Рабинович, М. А. Розов, Л. С. Тимонен. Предмет и задачи технической диагностики.— *Автометрия*, 1965, № 1.
44. К. Б. Карандеев, Б. И. Пучкин. Бионика и измерения.— *Измерительная техника*, 1964, № 4.
45. К. Б. Карандеев, В. Н. Охотская, Б. И. Пучкин, М. П. Чапенко. Бионические аспекты автоматрии.— *Автометрия*, 1967, № 5.
46. Техническая кибернетика. Проблемы управления и информации. Вопросы советской науки. М., «Наука», 1966.

*Поступил в редакцию
31 мая 1967 г.*