

**Б. С. СОТСКОВ**  
(Москва)

## ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЯ

В статье рассматривается возможность автоматизации измерений для различных областей научных и технических исследований. Описываются основные параметры, подлежащие контролю, основные принципы построения централизованных автоматических измерительных установок, способы экономической оценки целесообразности автоматизации измерений.

Автоматизация является одной из основных и характерных черт развития всех отраслей современной техники. Естественно, что она должна охватить и современную измерительную технику, т. е. технику получения количественной информации о значении величин, характеризующих процессы или свойства и параметры веществ, передачу, сбор, регистрацию этих данных, их обработку и анализ.

Таким образом, в измерительной технике возникло и развивается новое направление, связанное с созданием и применением автоматических измерительных приборов, устройств, лабораторий и станций. Это направление лежит на границе между измерительной техникой и техникой автоматического управления и в значительной мере зависит от успехов в их развитии.

Где следует применять автоматические приборы, устройства, лаборатории и станции? Можно считать, что по мере совершенствования они будут находить самое разнообразное применение. Тем более, что уже сейчас известен целый ряд областей их применения (см. например, [1—13]), где они имеют несомненные технические и технико-экономические преимущества:

в местах, где человек не может находиться либо вообще, либо продолжительное время (например, при длительных исследованиях в космосе, в глубинах океана, в глубинных скважинах и т. п.);

в труднодоступных и опасных местах (например, в полярных, горных областях, пустынях и других областях с тяжелыми климатическими условиями);

при наличии многих мест измерения, рассредоточенных на больших расстояниях или площадях (например, при гидрометеорологических, океанографических, геофизических, почвенных и т. п. измерениях);

при одновременном измерении большого числа одинаковых или разных величин;

при круглосуточных непрерывных или периодических измерениях;

при необходимости выдерживать с большой точностью программу (последовательность и продолжительность) вспомогательных и основ-

ных (измерительных) операций (например, при сложных химических или физико-химических анализах);

при продолжительном хранении большого количества данных, полученных при измерениях;

при быстрой обработке и анализе большого количества данных, получаемых во время измерения или после хранения (регистрации).

## **§ 1. Основные виды автоматических измерительных приборов, устройств, лабораторий, станций и их функции**

Рассмотрим основные виды автоматических измерительных приборов и устройств для выполнения измерений и регистрации данных отдельных величин и автоматических комплексных установок (машин), стендов, лабораторий и станций, служащих для выполнения сложных программ измерения и регистрации большого числа одинаковых или разных величин.

### *1. Автоматические приборы и устройства*

1.1. Автоматические приборы и устройства для автоматизации отдельных процессов измерения (автоматические потенциометры, мосты, весы, магнитометры).

1.2. Устройства для автоматизации циклов измерений, состоящих из вспомогательных операций, операций измерения и регистрации, а иногда обработки и анализа данных (различного рода современные аналитические приборы: автоматические титраторы, хроматографы, масс-спектрометры и т. п.).

### *2. Автоматические установки, стенды, лаборатории и станции*

2.1. Автоматические установки (машины) для контроля технологических процессов (машины для контроля химических и теплоэнергетических процессов: МАРС, МАР, «Зенит» и др.).

2.2. Автоматические испытательные установки, стенды, лаборатории, станции (установки, стенды, лаборатории и станции для испытания самолетов, кораблей, железнодорожных составов, автомобилей, двигателей, машин, станков, сооружений).

2.3. Автоматические лаборатории и станции для научных наблюдений и исследований (автоматические станции и лаборатории для космических, океанографических, геофизических, гидрометеорологических, гидрометрических, метеорологических, почвенных (сельскохозяйственных) и биомедицинских исследований).

Так как отдельные автоматические приборы и устройства первых двух групп (1.1 и 1.2) уже достаточно хорошо известны, то рассмотрим здесь автоматические установки, стенды, лаборатории и станции (2.1, 2.2 и 2.3).

2.1. Автоматические установки (машины) для контроля технологических процессов получили уже относительно широкое применение при контроле химических и теплоэнергетических процессов. Чаще всего необходимо измерять температуру, давление, расходы жидких и газообразных сред и изменения перечисленных параметров во времени, а также электрическое напряжение, токи и мощности, состав жидких и газообразных сред.

2.2. Автоматические испытательные установки, стенды, лаборатории и станции начали широко развиваться в самые последние годы. Они служат главным образом для измерения механических парамет-

ров: механических статических и динамических напряжений и их составляющих, амплитуды и частоты вибрации, скорости вращения или перемещения, линейных и угловых ускорений; тепловых параметров: температуры и ее изменений; расхода топлива или энергии при различных режимах работы и различных нагрузках; определения к. п. д. и экономичности установок; точности систем управления. Их основные достоинства — возможность одновременного контроля большого числа величин, регистрации данных их измерения и непосредственного вычисления сводных показателей (к. п. д., экономичности и т. п.).

2.3. Автоматические космические лаборатории и станции (спутники земли, космические ракеты, космические корабли, космические станции, планетные станции). В настоящее время в СССР и США разработан и используется ряд вариантов таких космических лабораторий и станций. Они обычно снабжаются аппаратурой для измерения следующих параметров: давления, плотности, температуры и состава верхних слоев атмосферы; концентрации положительных ионов и величины электростатического поля; величины магнитного поля; наличия микрометеоритов; величины коротковолновой части спектра солнца, космических лучей и корпускулярного излучения солнца, гравитационного смещения спектра; баланса земной энергии; биологических факторов: температуры, частоты пульса, частоты дыхания, электрокардиограммы и т. п. Результаты измерений передаются по радиоканалам связи.

Автоматические океанографические лаборатории и станции могут быть плавучие корабельные (надводные и подводные), плавучие стационарные (надводные и подводные), прибрежные (береговые: на пирсах, волноломах, молах; плавучие на якорях).

Как на корабельных, так и на стационарных плавучих станциях могут производиться измерения глубины, направления и скорости течения, высоты волн, температуры воды и воздуха, изменения температуры по глубине, электропроводности воды и изменения электропроводности по глубине, цвета и прозрачности воды и ее изменения по глубине,  $pH$  или состава воды, изменения состава по глубине, составляющих магнитного поля и их изменения во времени, вертикальной составляющей электрического поля и составляющих токов в воде. Часто чисто океанографические измерения совмещаются с метеорологическими.

На прибрежных станциях обычно измеряются следующие величины: глубина, изменение глубины во времени; направление и высота волн; усилие или импульс силы  $(\int_0^t P_x dt)$ , создаваемые волной при ударе о берег, изменение их в зависимости от высоты над уровнем воды и времени; высота ударной волны, ее изменение во времени; температура воды;  $pH$  или состав воды; наличие примесей.

Автоматические геофизические лаборатории и станции могут быть подразделены на следующие группы: сейсмические (для сейсмометрической службы; специальные, например, для наблюдения за атомными взрывами и для так называемого контроля взрывных работ и т. п.), глубинные (для контроля параметров скважин, окружающей среды), горные (для контроля горного давления в горах, рудниках и шахтах, для контроля снега и лавин, потоков селя и, наконец, для контроля искусственных сооружений: плотин, мостов, зданий — в сейсмоопасных районах и в зоне вечной мерзлоты).

На глубинных станциях при контроле скважин необходимо обычно измерять глубину, угол наклона, азимут наклона, давление буре, ско-

вания лавин или селевых потоков.

Важное инженерное значение приобретает в настоящее время контроль искусственных сооружений (плотин, мостов, крупных зданий), особенно в сейсмоопасных районах и в зоне вечной мерзлоты. Вопрос о параметрах, необходимых для контроля за состоянием сооружения, еще недостаточно ясен, но, безусловно, измеряются механические напряжения в подземных (подводных) и наружных частях конструкции, наличие фильтрации воды, изменение механических и гидромеханических свойств грунта, а также температура и ее изменения по глубине или толще сооружений.

Автоматические гидрометеорологические станции могут быть подразделены на следующие группы: автоматические метеорологические станции (подвижные: зонды, шары-пилоты, самолеты; стационарные); автоматические гидрологические станции; специальные автоматические станции: для магнитных измерений, для измерений электрического поля, для солнечных измерений и т. п.

На автоматических метеостанциях обычно измеряется температура, относительная влажность, давление воздуха, направление и сила ветра. В ряде случаев круг измеряемых величин расширяется и дополнительно измеряется высота слоя осадков (воды, снега), высота нижнего слоя облаков, прозрачность воздуха (дальность видимости), в других — добавляются измерения толщины снежного покрова, толщины и прочности льда.

Автоматические гидрологические станции могут быть подразделены на речные и озерные. На речных станциях чаще всего измеряется высота уровня воды и скорость ее течения, на озерных — высота уровня воды, направление и скорость течения, высота волн.

На автоматических станциях для магнитных измерений обычно измеряются составляющие магнитного поля ( $H_x, K_y, H_z$ ) и их изменения во времени, а на станциях для измерения электрического поля — знак и величина вертикальной составляющей электрического поля и их изменения во времени (а иногда и по высоте).

Специальные автоматические станции для солнечных измерений служат для измерения интегрального излучения солнца  $\left( \int_0^{\lambda_{\max}} \Phi \lambda d\lambda \right)$ , до-

стигающего места наблюдения; изменения величины излучения по спектру [ $\Phi_\lambda = f(\lambda)$ ]; изменения величины излучения в различных частях спектра во времени [ $\Phi_{\lambda_1} = f_1(t)$ ;  $\Phi_{\lambda_2} = f_2(t)$  и т. д.].

Автоматические почвенные станции могут быть подразделены на две группы: станции для измерений внутрипочвенного слоя и станции для контроля припочвенного слоя атмосферы.

Для станций первой группы необходимо измерять температуру, влажность и их изменения по глубине и во времени, плотность, пористость,  $pH$ , наличие основных химических элементов ( $O, N$  и т. п.). На станциях второй группы обычно производятся измерения температуры, ее изменения по высоте и во времени, влажности, ее изменения во времени (и по высоте); скорости ветра (и направления); в ряде случаев передаются данные о составе воздуха и наличии росы или инея.

Автоматические биомедицинские устройства, лаборатории и стан-

ции получают в последние годы широкое развитие. Их можно подразделить на следующие группы:

автоматические лабораторные и клинические установки для автоматического лабораторного анализа, для автоматического контроля при операциях (контроль наркоза, автоматическое «сердце», «легкие», «почки», контроль их работы и т. п.), для автоматического и централизованного контроля за состоянием больного (автоматический контроль содержания кислорода, контроль температуры, пульса, биотоков, телевизионное наблюдение за состоянием больного);

автоматические биометеорологические станции;

автоматические биосанитарные станции (станции по контролю состава воздушной среды, по контролю состава водной среды).

Автоматические биометеорологические станции должны контролировать, кроме обычных метеорологических величин, температуру, влажность, давление и их изменения во времени, направление и скорость ветра, а также дополнительно величину вектора магнитного поля, величину вертикальной составляющей электрического поля, величину солнечной радиации в ряде участков спектра и изменения их во времени, наличие и величину электромагнитного поля. При добавлении измерений  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и нейтронного излучения такие станции могут играть роль станций предупреждения об увеличении радиоактивной радиации и определения границ ее распространения.

Автоматические биосанитарные станции для определения состава воздушной среды в зависимости от места применения могут быть подразделены на станции контроля атмосферы в городах, станции контроля атмосферы промышленных предприятий (химических и металлургических заводов, гаражей, туннелей и т. п.), станции для контроля атмосферы шахт, рудников, нефтепромыслов; станции для противохимического предупреждения. Общими контролируемыми величинами являются содержание кислорода и окиси углерода; кроме того, производятся измерение и контроль специфических величин, например, сернистого водорода и т. п.

Автоматические биосанитарные станции для определения состава водной среды по областям их применения могут быть подразделены на станции для контроля источников водоснабжения, станции контроля сточных вод (городских, заводских), станции контроля вод рек, озер, водохранилищ, станции контроля вод прибрежных районов морей. Обычно измеряются физические (прозрачность, электропроводность), физико-химические ( $pH$ , адсорбция), химические (содержание заданных компонентов) и биологические (наличие и количество биоорганизмов, иногда их состав) величины.

В изложенном выше обзоре основных групп автоматических установок, лабораторий и станций указаны лишь основные, важнейшие из измеряемых (контролируемых) параметров. В зависимости от конкретных требований число и вид измеряемых величин могут изменяться. В значительной мере могут меняться и требования к точности, быстродействию, сроку работы и способам регистрации, обработки и анализа данных измерений.

## **§ 2. Основные способы построения автоматических измерительных устройств**

Следует отметить, что автоматизация накопления данных измерения появилась давно — с момента построения первых самопишущих приборов. Последними широко пользуются и в настоящее время как при

научных исследованиях, так и при контроле параметров в разнообразных технологических процессах.

Развитие этой простейшей группы автоматических приборов сейчас связано с расширением номенклатуры возможных измеряемых величин, с увеличением точности, скорости, продолжительности цикла регистрации, объема регистрируемых данных, удобством обработки и анализа данных. Так как эти требования противоречивы, то приходится иметь несколько решений, при которых удовлетворяется та или иная совокупность требований. Выбор вида носителей записи — бумажной ленты, специальных видов бумаг, магнитной ленты (провода), диска или барабана — определяет в значительной мере как возможную точность, так и возможную скорость регистрации, объем регистрируемых данных и удобство их обработки и анализа.

Следующая уже более сложная группа автоматических приборов и устройств связана с компенсационными методами измерения. К этой группе относятся различные автоматические потенциометры, мосты постоянного и переменного тока, автоматические весы. Автоматизация этих приборов и устройств осуществляется с помощью следящих систем, операций уравнивания измеряемых величин. Обычно в этих приборах одновременно производится и регистрация данных, а в последнее время и преобразование значения измеряемой величины в непрерывный сигнал постоянного или переменного тока, в импульсный или кодовый сигнал постоянного или переменного тока или в непрерывный пневматический сигнал, которые затем используются для автоматической регистрации и обработки данных или автоматического регулирования.

Возможность достичь при компенсационном методе большей точности измерения определяет быстрое развитие этой группы приборов. Использование источника вспомогательной энергии, необходимого для питания следящих систем, позволяет одновременно осуществлять и ряд других операций: регистрацию данных, преобразование измеряемых величин в сигналы, необходимые для передачи результатов автоматической регистрации и автоматической обработки и для анализа данных измерения на центральном пункте.

В последнее время быстрое развитие и широкое применение получает группа автоматических приборов и устройств, служащих для проведения определенного цикла измерений.

Характерным для этой группы устройств является наличие цикла операций, производимых по определенной, заранее установленной программе. Программа управляет последовательностью, продолжительностью, характером и величиной необходимых вспомогательных операций (например, установкой, перемещением, сменой образца) и рабочих воздействий (температурных, механических, электрических и т. п.), а также одновременным или последовательным измерением и регистрацией (на месте или на расстоянии) данных измерения.

Наличие таких автоматических приборов и устройств значительно повышает эффективность труда ученых при экспериментальных исследованиях. В известной мере оснащаемость такими приборами и установками является показателем культуры и производительности научных исследований, а также показателем уровня развития приборостроения.

Следует иметь в виду, что современные аналитические приборы, масс-спектрометры, радио-масс-спектрометры, хроматографы и т. п. обычно оснащаются автоматическими устройствами для пуска, поддержания постоянства рабочих режимов и защиты. Это делает их, по существу, полуавтоматическими устройствами и установками.

Рассмотренные выше группы приборов и устройств служат для местных измерений одной или нескольких величин. Их применение разнообразно и непрерывно расширяется.

Однако наибольший интерес сейчас представляет развитие автоматических устройств, установок, стенов, лабораторий и станций для одновременного непрерывного или периодического измерения величин в одном месте или в местах (пунктах), распределенных на большом расстоянии или на большой площади. При этом обычно ставится одна из следующих задач: регистрация данных измерений на месте; передача данных измерений из отдельных мест (пунктов) и их регистрация на центральном пункте; передача данных измерений из отдельных мест (пунктов) на центральный пункт и их автоматическая регистрация, обработка и анализ; предупреждение о ненормальных или аварийных режимах.

Для передачи данных измерений из отдельных мест (пунктов) на центральный пункт и их регистрации могут служить отдельные измерительные устройства, датчики, чувствительные элементы которых расположены в точке (пункте) измерения, а показывающие и регистрирующие приборы — на центральном пункте. Каждый датчик и соответствующие ему показывающие и регистрирующие приборы соединены своей отдельной линией связи (рис. 1).

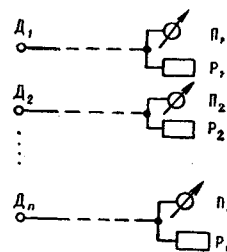


Рис. 1.

Однако такой способ неэкономичен, в особенности при больших расстояниях, когда стоимость линий существенно возрастает. Поэтому применяют частотные или временные методы уплотнения каналов связи (рис. 2). В случае частотного уплотнения (см. рис. 2, а) измеряемая величина в пункте измерения (ПИ) воздействует на датчик ( $D_1$  или  $D_2$  и т. д.). Выходной сигнал датчика управляет через соответствующий модулятор ( $M_1$ ,  $M_2$  и т. д.) амплитудой, частотой или фазой генератора вспомогательной частоты ( $G_1$  или  $G_2$  и т. д.). Промодулированный сигнал генератора через канал связи, имеющий передатчик  $G_0$ , приемник  $P_0$  и источники питания ИП' и ИП'', передается на центральный пункт (ЦП), где через соответствующий фильтр ( $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  и т. д.) и демодулятор ( $DM_1$ ,  $DM_2$  и т. д.) подводится к соответствующему показывающему и регистрирующему прибору ( $P_1$ ,  $P_2$  и  $R_2$  и т. д.).

При временном уплотнении (см. рис. 2, б) выходные сигналы поступают на распределитель РП', который по определенной программе (жесткой или управляемой) подключает датчики к каналу связи, имеющему передатчик  $G_0$ , приемник  $P_0$  и источники питания ИП' и ИП''. Перед передатчиком находится усилитель для сигналов датчиков и модулятор, который преобразует сигналы датчиков в форму, удобную для управления передатчиком  $G_0$ . Иногда сигналы от датчика усиливаются и модулируются до их поступления на распределитель. Для этого служат преобразователи — модуляторы  $PM_1$ ,  $PM_2$  и т. д. При этом для сигналов различных датчиков возможно применять различные виды модуляции.

На центральном пункте распределитель РП'' синхронно и синфазно подключает соответствующие данному номеру датчика показывающие и регистрирующие приборы. Сигнал от датчика после демодуляции в демодуляторе  $DM_0$  поступает на распределитель РП'' и подводится к соответствующему показывающему ( $P_1$ ,  $P_2$  и т. д.) и регистрирующему ( $R_1$ ,  $R_2$  и т. д.) приборам. Если модуляция сигналов датчиков производилась до поступления на распределитель РП', то после распределителя

РП" принятый сигнал от данного датчика проходит через свои преобразователи — демодуляторы (ПДМ<sub>1</sub>, ПДМ<sub>2</sub> и т. д.). В случае необходимости сигнализации об аварийных отклонениях значения измеряемой величины (например,  $x_n$ ) параллельно приемному измерительному прибору может быть установлено реле Р<sub>п</sub>, которое включает световую и звуковую сигнализацию.

Рассмотренные схемы передачи показаний целесообразны при относительно небольшом числе измеряемых величин, когда имеется возможность следить за показаниями и результатами регистрации данных

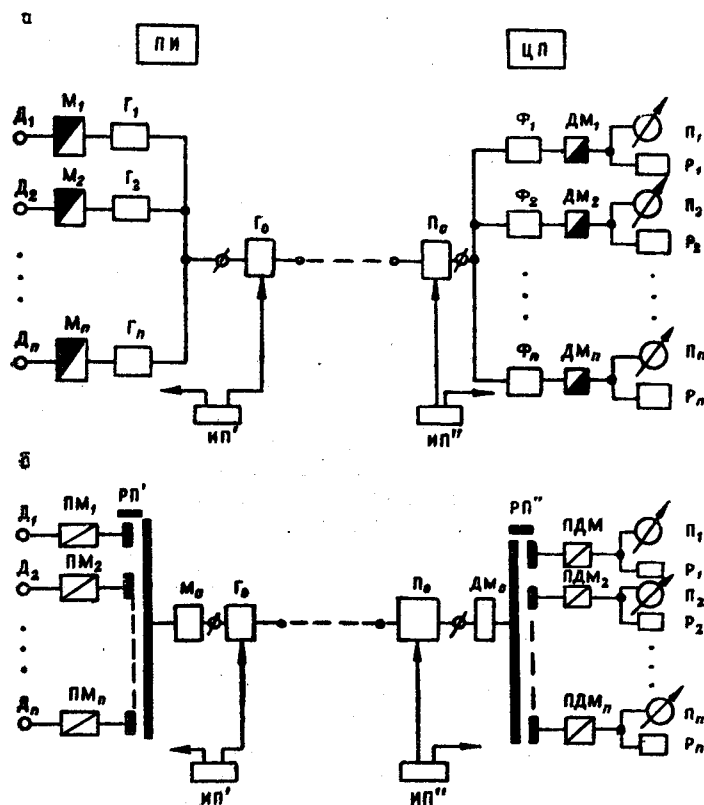


Рис. 2.

измерения на всех приемных приборах и когда не требуется непрерывного анализа данных. В случае измерения большого числа величин и необходимости непрерывного анализа данных измерений в настоящее время используются различные устройства автоматической обработки информации. Типичная блок-схема такого устройства приведена на рис. 3.

Программное устройство ПУ управляет входным распределителем  $S$ , распределителем устройства памяти  $S'$  ( $S'_1, S'_2$ ) и распределителем способа съема данных  $S''$  ( $S''_a, S''_c$ ). Само программное устройство управляется от тактового устройства (часов). Датчики  $D_1, D_2, \dots, D_n$  через распределитель  $S$  подключаются к органу сравнения. Синхронно и синфазно через распределитель  $S'_1$  подключается записанное в памяти Пм заданное либо предыдущее значение измеряемой величины. Результаты сравнения в органе сравнения ОС сигналов, полученных от датчика ( $D_n$ ), и сигнала, записанного в устройстве памяти Пм для данного



датчика, подводятся к преобразователям аналог — аналог ( $a_1/a_2$ ) и аналог — цифра ( $a/c$ ), где и преобразуются в необходимые аналоговые или цифровые сигналы, которые через одну ( $S_a''$ ) или другую ( $S_u''$ ) часть распределителя  $S''$  подводятся либо к аналоговым показывающим ( $\Pi_x$ ) или регистрирующим ( $P_x$ ) приборам, либо к цифровым регистрирующим ( $K$ ), показывающим ( $M$ ) или сигнальным ( $A$ ) приборам. В случае необходимости полученное новое значение выходного сигнала через вторую часть распределителя  $S'$  может быть записано в устройстве памяти  $\Pi_m$  вместо его предыдущего значения.

Для того, чтобы сигналы от датчиков привести к единой форме, с датчиками, имеющими сигнал, отличающийся по роду энергии или форме от необходимого, соединяется соответствующий преобразователь ( $\Pi_{p_n}$ ).

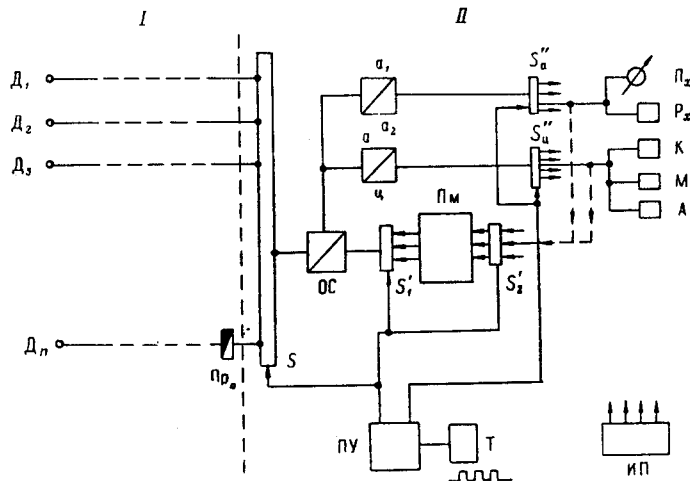


Рис. 3.

Такого рода устройства для автоматической обработки, анализа и регистрации результатов измерения могут быть применены в качестве приемной части центрального устройства при сборе данных от точек (пунктов) измерения, распределенных на больших расстояниях или на больших площадях. Для этих целей могут быть использованы частотный и временный способы уплотнения каналов связи.

Заканчивая краткий обзор основных способов автоматического сбора, регистрации, обработки и анализа данных, необходимо остановиться на источниках питания для точек (пунктов), где производятся измерения. Источники питания могут быть централизованными и автономными. Централизованными источниками питания могут быть электросети промышленного или бытового назначения; энергия, передаваемая к точке (пункту) измерения по тому же каналу связи, по которому передаются сигналы от датчиков; энергия, передаваемая к точке (пункту) измерения по специальному каналу (по другой линии связи или по той же линии связи, но на другой частоте). Автономными источниками питания могут быть химические источники тока, электрические аккумуляторы, механические двигатели (ветродвигатели, гидродвигатели, волновые двигатели, тепловые двигатели внутреннего сгорания, биморфные элементы), термоэлектрические батареи, солнечные фотоэлектрические батареи, атомные электроэлементы и атомные микроэлектростанции, электропреобразователи звуковой энергии, преобразователи энергии радиоволн в электрический ток, биоэлектрохимические элементы.

Как следует из предыдущего, автоматические устройства, стенды, установки, лаборатории и станции имеют широкое поле применения. Необходимо всемерное их развитие, создание типовых решений. Основами рационального построения типовых автоматических устройств, стендов, установок, лабораторий и станций, на наш взгляд, являются: широкое использование электрических методов измерения неэлектрических величин для преобразования значений измеряемых величин в электрические сигналы; применение унифицированных сигналов при фиксации результатов измерения для регистрации, обработки и анализа; применение унифицированных способов передачи сигналов с использованием типовых модуляторов и демодуляторов, цифровых шифраторов и дешифраторов; широкая унификация конструктивных элементов (модулей и блоков для устройств передачи, обработки и анализа данных измерений и для устройств показаний, регистрации, печати и сигнализации); наконец, разработка различных видов типовых источников питания. Использование этих принципов позволит быстро и дешево создать типовые автоматические измерительные устройства для научных и технических целей.

### § 3. Техничко-экономические вопросы применения автоматических лабораторий и станций

Интересно сравнить затраты при применении обычных и автоматических измерительных лабораторий и станций. Затраты за время работы обычной измерительной лаборатории, станции  $T_0$  равны

$$K = (K_{aI} + K_{aIII}) + (C_s + C_m + C_p) T_0 + C_y \cdot \lambda \cdot T_0,$$

где  $K$  — общие затраты за рассматриваемое время (цикл, сезон, кампания, год);

$K_{aI}$  — затраты на измерительное оборудование, его транспортировку, монтаж и наладку;

$K_{aIII}$  — затраты на капитальное строительство для обслуживающего персонала;

$C_s$  — затраты на энергию в единицу времени (например, месяц),  $C_s = C_{sI} + C_{sIII}$ , где  $C_{sI}$  — затраты на энергию, необходимую для обеспечения действия измерительной лаборатории;  $C_{sIII}$  — затраты на энергию, необходимую для нужд обслуживающего персонала;

$C_m$  — затраты на материалы в единицу времени (например, месяц),  $C_m = C_{mI} + C_{mIII}$ , где  $C_{mI}$  — затраты на материалы, необходимые для деятельности измерительной лаборатории;  $C_{mIII}$  — затраты на материалы, необходимые для обслуживающего персонала;

$C_p$  — затраты на зарплату персоналу в единицу времени (например, месяц),  $C_p = C_{po} + mC'_{pm}$ , где  $C_{po}$  — затраты общей группе персонала;  $C'_{pm}$  — зарплата персоналу одной смены;  $m$  — число смен ( $m=1-4$ ).

$C_y$  — убытки из-за отказа измерительной лаборатории или станции;  $\lambda$  — интенсивность отказов, приходящихся на единицу времени.

Если отказ не вызывает непосредственных убытков в контролируемом технологическом процессе, то  $C_y$  равна стоимости ремонта или замены отказавшей части установки, лаборатории или станции ( $C_y = C_{yo}$ ).

Если отказ вызывает, кроме того, необходимость повторения измерений в течение времени  $T_0$ , то убыток из-за отказа равен  $C_{y1} = C_{yo} +$

$+(C_s + C_m + C_p)T_0$ . В случае измерения основных технических параметров в технологических процессах отказ может привести к порче продукции, к уменьшению выхода продукции с единицы сырья или на единицу затрачиваемой энергии.

В случае использования автоматических измерительных лабораторий или станций затраты определяются

$$K' = K'_{aI} + \left( C'_s + C'_m + \frac{C'_p}{n_0} \right) T_0 + C_y \lambda' T_0,$$

- где  $K'_{aI}$  — затраты на оборудование лаборатории или станции, включая транспортировку, монтаж и наладку;  
 $C'_s$  — затраты на энергию, необходимую для работы лаборатории или станции в единицу времени (например, месяц);  
 $C'_m$  — затраты на материалы, необходимые для работы лаборатории или станции в единицу времени (например, месяц);  
 $C'_p$  — затраты на зарплату в единицу времени бригаде обслуживающего персонала;  
 $n_0$  — число автоматических лабораторий или станций, обслуживаемых данной бригадой;  
 $\lambda'$  — интенсивность отказов, выражаемая вероятным числом отказов, приходящихся на единицу времени.

$T_0$  и  $C_y$  обозначают то же, что и в предыдущем выражении. В данном случае отпадают затраты на капитальное строительство, потребляемую энергию и материалы, уменьшаются затраты на обслуживающий персонал. В качестве примера можно указать на стоимость автоматической буйковой, океанографической и метеорологической станции (США) (сбор данных осуществляется кораблями раз в несколько месяцев) и такой же малой корабельной станции типа *Nomad*. В первом случае стоимость одной станции составляет 100 000 долларов и годовое обслуживание — 10 000—15 000 долларов. Стоимость корабельной станции составляет 800 000—4 000 000 долларов и годовое обслуживание — 50 000—150 000 долларов.

Наконец, в качестве варианта рассмотрим устройства, лаборатории или станции с автоматическим сбором, обработкой и анализом данных измерений. Затраты на установку, измеряемую в  $N$  точках, определяются

$$K'' = (K'_{aI} + K_{aII} N) + (C'_{sI} + C'_{mI} + C'_{pI}) T_0 + \\ + \left( C_{sII} + \frac{C_{pII}}{n_0} + C_{mII} \right) T_0 + C_y (\lambda_I + \lambda_{III}) T_0,$$

- где  $K'_{aI}$  — затраты на оборудование центрального пункта (где производится сбор, измерение, регистрация, обработка и анализ данных), его монтаж и наладку;  
 $K_{aII}$  — затраты на оборудование, монтаж и наладку одной измерительной точки, включая линии связи;  
 $C'_{sI}$  — затраты на энергию, необходимую для работы центрального пункта, в единицу времени (например, месяц);  
 $C'_{mI}$  — затраты на материалы, необходимые для работы центрального пункта в единицу времени (например, месяц);  
 $C'_{pI}$  — затраты на зарплату обслуживающему персоналу центрального пункта в единицу времени (например, месяц);  
 $C_{sII}$  — затраты на энергию, необходимую для работы одной точки (пункта) измерения, в единицу времени (например, месяц);

- $C_{рн}$  — затраты на зарплату бригаде, обслуживающей точки (пункта) измерения, в единицу времени (например, месяц);
- $C_{м1}^-$  — затраты на материалы, необходимые для работы одной точки (пункта) измерения в единицу времени (например, месяц);
- $n_0$  — число точек (пунктов) измерения, обслуживаемых одной бригадой;
- $\lambda_1$  — интенсивность отказов, выражаемая вероятным числом отказов в единицу времени, для центрального пункта;
- $\lambda_{п1}$  — интенсивность отказов, выражаемая вероятным числом отказов в единицу времени, для одной точки (пункта) измерения и канала между точкой измерения и центральным пунктом;

$T_0$  и  $C_y$  обозначают то же, что и в предыдущих случаях.

### З а к л ю ч е н и е

Автоматизация процессов измерений и передачи, обработки и анализа данных позволяет коренным образом расширить применение измерительной техники в различных областях научных исследований и народного хозяйства. В списке литературы приведено лишь несколько интересных примеров, относящихся к этой проблеме. Автоматические измерительные и контрольные приборы часто значительно снижают затраты на проведение научных исследований, а при контроле производственных процессов позволяют вести непрерывную и быструю регистрацию, обработку и анализ данных измерения, что является весьма существенным с технической и экономической точки зрения.

Необходимо энергично и настойчиво развивать это новое и весьма прогрессивное направление измерительной техники.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. N. E. Rigor. Automatic weather station development in the meteorological office. Meteorol. Mag., 1963, v. 92, N 1093, p. 243—246.
2. Liepolt Reinhard. Apparate, Geräte und sonstige Hilfsmittel im Dienste der Gewässerüberwachung. Informationsbl. Förderat Europ. Gewässerschutz, 1963, N 8, p. 38—41.
3. A. M. Kasatkin. Topside optical station for studying the atmosphere. Planet. & Space Sci., 1963, v. 11, N 10, p. 1235—1249.
4. Д. Кинг-Хили. Искусственные спутники и научные исследования. Перев. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1963.
5. S. F. Singer. Space: exploration by weather satellites. Explorers J., 1963, v. 41, N 1, p. 30—34.
6. Friih. Meteorological satellites. Times Sci. Rev., 1963, N 50, p. 3—4.
7. P. S. Srivastava. A new technique using radioactive tracers for studies in physical oceanography. Indian J. Pure and Appl. Phys., 1963, v. 1, N 7, p. 263—265.
8. C. E. N. Frankcom. Ocean weather ships. Some navigation and oceanographical aspects. Internat. Hydrogr. Rev., 1963, v. 40, N 2, p. 141—153.
9. Rockets in radio space research. Electron. Weekly, 1963, N 146, p. 5.
10. Calculateur électronique pour la météorologie nationale. A. Tech. mod., 1963, v. 55, N 3, p. 105—106.
11. С. П. Пустовойт. Режим рівнів на ріках Київського економічного району. Вестник Київськ. ун-ту, 1962, серія геол. да геогр., вип. 1, № 5, 95—105.
12. Role des services météorologiques et des satellites Tiros. Rech. scient. et techn., 1963, N 6—6, p. 55.
13. A. Rosenblatt. Oceanographers await frequencies. Electron. Design, 1963, v. 11, N 13, p. 38—40.

Поступила в редакцию  
5 октября 1964 г.