

6  
А-53

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

---

На правах рукописи

А. Ю. БОРИСОВА

**РАЗВИТИЕ  
ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
КАК ПРОЦЕСС АВТОМАТИЗАЦИИ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ**

(Диссертация написана на русском языке)

Специальность № 580 — История науки и техники

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации, представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

МОСКВА, 1972

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

---

На правах рукописи

А. Ю. БОРИСОВА

**РАЗВИТИЕ  
ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
КАК ПРОЦЕСС АВТОМАТИЗАЦИИ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ**

(Диссертация написана на русском языке)

Специальность № 580 — История науки и техники

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации, представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

МОСКВА, 1972

621.317

A 53

Объединенный ученый совет по общим проблемам истории техники при институте истории естествознания и техники АН СССР направляет Вам для ознакомления автореферат диссертации А. Ю. Борисовой, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Работа выполнена в Секторе истории современной научно-технической революции Института истории естествознания и техники АН СССР и на кафедре информационно-измерительной техники Рязанского радиотехнического института.

Научные руководители:

кандидат технических наук, старший научный сотрудник В. М. Родионов,

кандидат технических наук, доцент В. И. Петухов.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Г. И. Кавалеров,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Л. Г. Давыдова.

Официальная оппонирующая организация: ВНИИ Госкомитета Стандартов.

Автореферат разослан " 5 " мая 1972 г.

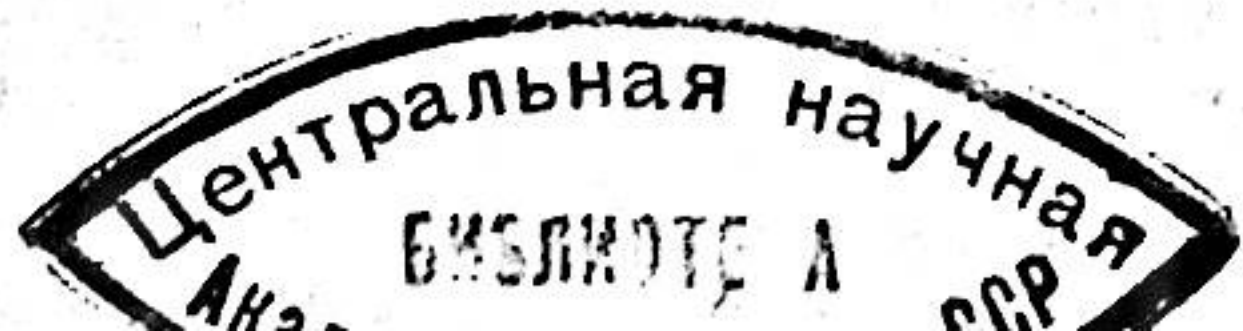
Защита диссертации состоится « 8 » июня 1972 г. на заседании Объединенного ученого совета по общим проблемам истории техники при Институте истории естествознания и техники АН СССР (Москва, К-12, Старопанский пер., 1/5, 3-й этаж).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь  
Объединенного ученого совета  
кандидат исторических наук

А. А. КУЗИН.

Вклейте верить



Достижения современной научно-технической революции в значительной степени обусловлены развитием измерительной техники. В Директивах XXIV съезда КПСС по девятому пяти-летнему плану развития народного хозяйства в числе других отраслей предусматриваются опережающие темпы развития приборостроения.

Среди различных методов и средств измерения особое место занимают электрические измерения. Это обусловлено их широкими возможностями: централизацией и одновременным измерением многочисленных и различных по своей природе параметров, контролируемых нередко в удаленных и недоступных точках; автоматизацией процессов измерения и математических операций над результатами измерения; изменением чувствительности приборов в необычайно широких пределах; измерением и регистрацией как очень длительных, так и быстротекущих явлений.

Дальнейшее совершенствование электроизмерительных приборов имеет большое техническое значение. Успешное выполнение этой задачи во многом зависит от раскрытия объективных закономерностей развития электроизмерительной техники. Однако наряду с многочисленными работами по теории и проектированию электроизмерительных средств до настоящего времени не уделено должного внимания изучению их истории, оценке современного состояния и выявлению перспективных тенденций развития.

Настоящее исследование имеет целью выявление некоторых особенностей развития электроизмерительной техники, включая решение следующих задач:

1. Исследование исторического пути и тенденций развития средств электроизмерения, обоснованная периодизация их развития.

2. Анализ основных закономерностей эволюции средств электроизмерения.

3. Исследование процесса передачи измерительных операций от человека к техническим средствам.

В диссертации не предусматривалось описание последова-

тельного видоизменения и совершенствования всех элементов электроизмерительных приборов. Целью работы было выявить и проанализировать лишь самые основные направления в развитии творческой мысли и ее нововведения, которые носили основополагающий характер. С учетом сложившегося многообразия данных технических средств пришлось ограничить задачу исследования и исключить из рассмотрения смежные области измерения, базирующиеся на электрических методах, в том числе радиоизмерения, магнитные, неэлектрические и телеизмерения.

При изучении источников информации и обработке данных нашли применение методы историко-технического исследования и количественного анализа.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения.

Во введении дано обоснование актуальности темы, сформулирована цель исследования, а также проведен анализ основных источников исследования.

В первой главе сделана попытка классификации существующих средств электроизмерения, рассмотрены принципы периодизации их развития и дано обоснование целесообразности историко-технического анализа с точки зрения повышения степени автоматизации процесса измерения.

Показано, что при анализе развития электроизмерительных средств может быть построен ряд вариантов периодизации в зависимости от аспекта изучения данной темы. При этом каждый вариант будет отражать внутреннюю логику развития данных технических средств. Так, например, историю электроизмерительной техники можно рассматривать с позиции видоизменения элементной базы, выделяя периоды, соответствующие применению электромеханических устройств, устройств на электровакуумных лампах, полупроводниковых элементах, интегральных схемах. Эволюцию электроизмерительных устройств можно рассматривать и в аспектах повышения точности, быстродействия, надежности измерения, расширения диапазонов значений измеряемой величины и т. д. Тем не менее все эти подходы не являются универсальными и не дают нужных возможностей для решения поставленных в диссертации задач.

С нашей точки зрения в развитии электрических измерений особенно важный смысл имеет процесс передачи измерительных операций от человека к техническим средствам. Анализ этого процесса позволяет оценить динамику наиболее существенных параметров технических устройств, понять основные направления развития измерительной техники и ее роль в общей проблеме автоматизации умственного труда человека.

Именно этот аспект и был выбран в качестве основы периодизации.

Исходя из этой характеристики, периодизация развития электроизмерительной техники принимает следующий вид:

I — подготовительный период (середина XVIII в. — первая половина XIX в.);

II — период показывающих приборов (середина XIX в. — вторая половина XIX в.);

III — период аналоговых самопишущих приборов (конец XIX в. — первая половина XX в.);

IV — период автоматических цифровых приборов (середина XX в. — 50-е годы XX в.);

V — период измерительных информационных систем (конец 50-х годов XX в. — настоящее время).

Начало каждого периода определено на основе критерия массового промышленного выпуска моделей новых устройств. Формирование новых этапов протекает при широком применении приборов прошлых периодов.

Во второй главе рассмотрено развитие аналоговой электроизмерительной техники.

**В подготовительный период** в связи с зарождением и развитием учения об электричестве сформировались электроизмерения как самостоятельное направление экспериментальной физики.

Русским ученым М. В. Ломоносову и Г.—В. Рихману принадлежит заслуга первого количественного определения электричества. Электроскоп Рихмана послужил основой последующих конструкций электроскопов и электрометров.

Успехи в изучении электрических законов и явлений в 1-й половине XIX в. создали предпосылки для разработки измерительных механизмов показывающих приборов: магнитоэлектрических (А. Ампер, 1820 г.), электромагнитных (А. Араго, 1820 г., У. Стерджен, 1825 г.), электрохимических (М. Фарадей, 1843 г.), электродинамических (В. Вебер, 1846 г.). Работы отечественных и зарубежных ученых (Б. С. Якоби, И. Швейгера, И. Поггендорфа, Г. Ома, К. Пулье и др.) способствовали улучшению их конструкций.

Развитие электрической телеграфии сыграло важную роль в разработке мостовых методов измерения сопротивления (Кристли, 1833 г., Ч. Уитстон, 1843 г.) и компенсационных методов измерения э. д. с. и напряжений (И. Поггендорф, 1841 г.), а также в разработке систем единиц (К. Гаусс, 1832 г.), эталонов (Б. С. Якоби, 1848 г.) и способов градуировки приборов (Б. С. Якоби, 1858 г.).

**В период показывающих приборов** утверждаются методы и средства количественных исследований электрических явлений.

ний. Начало и середина 2-й половины XIX в. в основном связаны с использованием постоянного тока. Следствием этого явилось интенсивное совершенствование приборов и методов измерения его характеристик (работы К. Гаусса, В. Вебера, В. Томсона, М. Депре, Д'Арсонваля, К. Фейснера).

Успешное осуществление передачи электроэнергии на расстояние, строительство электростанций в конце XIX в. послужило толчком к совершенствованию уже известных методов и приборов для измерения характеристик переменного тока (работы Ф. Кольрауша, В. Томсона, М. О. Доливо-Добровольского, Ж. Свинборна), а также стимулировало разработку новых типов приборов: индукционных с подвижным диском (Бенишке, 1899 г.), с подвижным барабаном (Г. Феррарис, 1901 г.) и ферродинамических (М. О. Доливо-Добровольский, 1903 г.).

**Период аналоговых самопишущих приборов** характеризуется развитием устройств с автоматической записью результатов измерения. Опыт конструкции и эксплуатации их накапливался в течение 2-й половины XIX в. (работы Б. С. Якоби, В. Томсона, Е. П. Троицкого, Р. А. Колли, Ф. Кольрауша). Промышленное применение связано с широким использованием электроэнергии в конце XIX в.

Первое применение нашли самопишущие приборы прямого преобразования с измерительными механизмами показывающих приборов, дополненные записывающим органом. Их промышленный выпуск был начат в 1892 г. в США и Англии. Развитие приборов этой группы связано с разработкой предварительных усилителей и совершенствованием методов регистрации. Отечественные приборы начали выпускаться предприятиями треста «Теплоконтроль» в 30-х годах XX в.

Чувствительные гальванометры типа Депре-Д'Арсонваля послужили основой создания электромеханических осциллографов. Прибор с подвесной частью гальванометра в виде иглы (А. Блондель, 1891 г.) обладал прочностью и большой перегрузочной способностью. Однако он был сравнительно нечувствителен и имел в измерительной цепи большую индуктивность. Эти недостатки были устранены в бифилярном петлевом гальванометре для осциллографа (А. Блондель, 1893 г.). Чувствительность осциллографа увеличилась с применением рамочного гальванометра (Х. Абрагам, 1897 г.). Дальнейшее развитие приборов характеризуется улучшением их частотной характеристики, чувствительности, внешнего и внутреннего успокоения, а также разработкой магнитов малого размера. Отечественное производство начато в 1936 г. мастерскими Харьковского электротехнического института.

Техническими предпосылками создания электронных осциллографов явились успехи электроники в начале XX в. Ши-

рокое их применение и развитие связано с появлением трубок с холодным катодом (Ф. Браун, 1897 г.) и накалимым катодом (А. Венельтом, 1905 г.). Существенный вклад в развитие осциллографии внесли отечественные ученые Л. И. Мандельштам, Д. А. Рожанский, Б. Л. Розинг, И. С. Стекольников. Совершенствование этих приборов связано в первую очередь с увеличением их чувствительности и расширением частотного диапазона. Конструирование отечественных электронных осциллографов начато с 1927 г.

Механизация технологических процессов, введение автоматического их контроля в начале XX в. предъявили новые требования к параметрам самопишущих приборов, достигнуть которые удалось лишь компенсационными методами измерения.

Первый механический «компенсограф» был с часовым компенсирующим механизмом (Келлендар, 1899 г.). В начале XX в. чрезвычайно широкое применение получили компенсаторы с кулачково-рычажными механизмами — механическими реле. Но они отличались громоздкостью конструкции и большой инерционностью. В 20-х годах были предложены электрические методы передачи команды от нуль-органов к компенсирующему приводу. Конструкция упростилась, но приборы были недостаточно надежны в работе. В конце 20-х годов техника полностью отказалась от механических усилителей и перешла к построению приборов с нуль-мотором. Однако чувствительность таких приборов была ограничена. Поэтому в 30-х годах был вновь осуществлен возврат к нуль-гальванометрам, но с применением бесконтактных управляющих нуль-органов и фотоэлектрической или электромагнитной компенсации. Успешное освоение электронной лампы позволило создать подобные приборы с изменением рабочего тока с хорошими характеристиками. Опытный отечественный образец прибора разработан в 1933 г. Л. Ф. Куликовским, первые промышленные образцы выполнены в Отраслевой лаборатории измерений под руководством Б. А. Селибера в 1935—1940 гг.

Применение электронных ламп позволило отказаться от использования нуль-гальванометров и перейти к управлению двигателем током некомпенсации после его усиления. Первые образцы таких компенсаторов созданы в конце 30-х годов Б. А. Барским во Всесоюзном энергетическом институте и в опытно-конструкторском бюро ГСОКБ, руководимом А. А. Андреевым. В послевоенные годы были выпущены промышленные модели.

Третья глава посвящена развитию цифровой электроизмерительной техники.

**Период цифровых приборов** характеризуется разработкой и совершенствованием измерительных устройств, автоматиче-

ски выполняющих квантование и кодирование измеряемой величины и представление ее в цифровом виде.

Техническими предпосылками создания цифровых приборов послужили достижения ряда областей техники периода 20—50-х годов XX в. Их массовый промышленный выпуск связан с развитием цифровой вычислительной техники и с решением задач повышения точности, удобства отсчета и регистрации результата при измерении.

Первыми промышленными цифровыми приборами были американские и советские частотомеры, использующие частотно-импульсное преобразование. Достоинства метода — высокая помехоустойчивость, возможность определения среднего значения измеряемой величины — обусловили затем его широкое применение для измерения любых электрических и неэлектрических параметров с предварительным преобразованием их в частоту или с использованием частотных датчиков, проблема создания которых особенно остро была поставлена в начале 60-х годов.

Первые сообщения о приборах с кодо-импульсным преобразованием — американских «потенциометрических» вольтметрах и отечественных цифровых компенсаторах (разработаны М. П. Цапенко в Московском энергетическом институте (МЭИ) ) относятся к 1953—1956 гг. В них заимствован принцип самоуравновешивающихся потенциометров с синхронным двигателем. Однако приборы содержали много механических частей, дальнейшее повышение их точности было связано с неоправданной громоздкостью и удорожанием.

Высокую точность и быстродействие обеспечило кодо-импульсное преобразование методом «взвешивания». Первый вариант релейного автоматического компенсатора построен К. А. Нетребенко в институте радиофизики и электроники в 1956 г. В цифровом вольтметре Пензенского индустриального института (автор В. М. Шлядин) использовалась трехдекадная компенсационная схема на шаговых искателях. В 1961 г. Ленинградский завод «Вибратор» освоил серийное производство вольтметров с кодо-импульсным преобразованием.

Стремление совместить достоинства кодо-импульсного и частотно-импульсного методов преобразования, т. е. создать быстродействующий прибор высокой точности и стабильности, способный ослаблять входные помехи, привело к разработке «интегротенциометрического» метода, впервые реализованного в американских приборах в 1965 г.

Первые приборы с время-импульсным преобразованием — вольтметры — выпущены в США в 1954—1955 гг. В эти же годы созданы и отечественные устройства: с линейно-изменяющимся компенсирующим напряжением В. Б. Смолым в

Ленинградском электротехническом институте им. В. И. Ульянова (Ленина), со ступенчато-изменяющимся напряжением в МЭИ под руководством Ф. Е. Темникова и других организациях. Серийный отечественный вольтметр выпущен в 1965 г.

Благодаря простоте, возможности использования широко известных импульсных схем на серийных деталях, достаточно высокой точности и быстродействия рассматриваемый метод нашел широкое применение в недорогих универсальных приборах различного назначения.

В 1967 г. за рубежом предложены приборы с двухтактным время-импульсным преобразованием (или преобразованием с двойным интегрированием), обладающие более высокой точностью и быстродействием. Только на основе одно- или двухтактного время-импульсного преобразования строятся и новые цифровые приборы — щитовые и панельные, известные с 1966 г.

В последние годы развитие цифровых приборов в основном связано с совершенствованием структуры устройства, использованием новых способов аналого-дискретного преобразования, введением вычислительных узлов, а также миниатюризацией.

В конце 50-х годов (начало периода измерительных информационных систем) значительно расширились возможности автоматизации с применением сложных систем, управляемых ЦВМ. Вследствие этого возникла проблема использования результатов не отдельных измерений, а потоков измерительной информации, часто весьма интенсивных, характеризующих состояние объектов исследования. Преодолеть ограниченные в этом плане физиологические способности человека — оператора позволили измерительные информационные системы (ИИС). Раскрытие технических основ построения ИИС показало, что они синтезировали достижения кибернетики, математики, вычислительной техники, электроники и других областей науки и техники.

Анализ функциональных и структурных схем ИИС дает возможность охарактеризовать отличительные их признаки и установить, что в сфере современных средств автоматизации они могут применяться в качестве первого, начального, звена систем управления, включающих ЦВМ, а также самостоятельно для исследования, контроля и диагностики различных объектов.

Первые опыты по созданию аппаратуры централизованного контроля проведены в Советском Союзе еще в 1935—1939 гг. в МЭИ под руководством Ф. Е. Темникова. Интенсивная промышленная разработка систем автоматического контроля в СССР и за рубежом начата в 1957—1958 гг. В эти же

годы начаты разработки исследовательских ИИС для получения множественной информации с немедленной ее обработкой и выдачей логического решения в соответствии с заданным алгоритмом.

Анализ основных технических характеристик отечественных и зарубежных систем, созданных за последние 20 лет, показал, что запросы практики — более широкие диапазоны измеряемых величин, большие быстродействие и точность, развитость средств представления информации и расширение их функциональных возможностей, широкий набор программ и сложность алгоритмов обработки информации — привели к значительному многообразию систем.

Широкое применение существующих ИИС тормозится тем, что они, как правило, проектировались для обслуживания определенных объектов или решения определенного класса задач. Вследствие этого очевидна обоснованность подхода к проектированию ИИС, как агрегатного комплекса функционально законченных узлов, позволяющих строить системы различного назначения.

В четвертой главе рассмотрены основные закономерности эволюции средств электроизмерения.

На конкретном историческом материале показано, как электроизмерительная техника в своем развитии опирается на накопленный опыт и нередко возвращается к «старым» идеям, используя их на новой технической основе.

Выявляется процесс интеграции научных знаний, проявляющийся в том, что совершенствованию и развитию электроизмерительной техники способствовало обогащение ее опытом и достижениями различных областей знания. Рассматривается процесс дифференциации электроизмерительной техники, проявляющийся в выделении внутри нее отдельных направлений, формирующихся постепенно в самостоятельные области измерений.

Проведенное историко-техническое исследование и результаты статистического анализа отечественных диссертаций в рассматриваемой области техники, защищенных в период с 1940 по 1970 гг., позволили получить схему изменения взаимосвязи науки и техники в процессе развития средств электроизмерения и подтвердить существенное повышение роли науки на современном этапе.

На основе исторической классификации и анализа линий развития средств электроизмерения показано, что ускорение темпов прогресса в данной области техники происходит за счет сокращения этапов технической реализации идеи и совершенствования конструкции прибора. Среднее время развития ИИС по сравнению с показывающими приборами сократилось в четыре раза.

Статистический анализ основных параметров отечественных и зарубежных цифровых вольтметров (выпуска 1961 — 1971 гг.) позволил исследовать темпы улучшения технических характеристик приборов.

Значительное внимание уделено исследованию важнейшей закономерности развития электроизмерительной техники — непрерывному повышению качества приборов и устройств. С точки зрения поставленной задачи обоснована целесообразность классификации критериев качества средств измерения по степени их обобщенности.

Проведенный анализ наиболее распространенных и широко применяемых частных критериев показал, что они не могут служить для обобщенной оценки всей совокупности свойств измерительной техники в процессе ее исторического развития. В то же время оценка существующих комплексных критериев качества позволила обоснованно подойти к выбору одного из них — информационного к. п. д. Произведенные расчеты позволили установить области его значений для приборов различного принципа действия на всех исторических периодах.

Анализ динамики параметров электроизмерительных средств показал, что информационный к. п. д. изменяется во времени по экспоненциальному закону. Найдены параметры экспоненты. Сделан вывод, что по мере дальнейшего развития экспоненциальный характер закономерности изменится и функция перейдет в логистическую кривую.

Предложен способ нахождения балльных оценок относительной значимости многочисленных частных критериев и последующее сведение их в комплексный критерий качества средств электроизмерения, более общий, чем информационный к. п. д. Предложенный способ позволяет исключить недостатки, присущие экспертной оценке относительной значимости отдельных параметров устройств. Теоретические результаты подтверждены проверкой на примере цифровых вольтметров.

В пятой главе исследуется процесс автоматизации измерительных операций.

В общем случае организация решения измерительной задачи предполагает реализацию совокупности операций трех этапов: I — подготовка к проведению измерения, II — непосредственное проведение измерения, III — использование полученных результатов.

II этап обеспечивается выполнением основных операций непосредственного процесса измерения и вспомогательных операций, повышающих качество измерения. В диссертации показано, что процесс автоматизации электроизмерительных средств начался с основных операций.

В конце 30-х годов XVIII в. человек передал операцию восприятия электрической величины простейшим измеритель-

ным устройствам без шкалы, в которых о величине заряда судили, например, по частоте удара наэлектризованного стерженька по колоколу.

После создания электроскопа со шкалой (Г.—В. Рихман, 1745 г.) техническому устройству была передана операция сравнительной оценки электрических явлений в относительных единицах. Осуществление операции измерения электрической величины, т. е. сравнение ее с электрической мерой, стало возможно с созданием первого гальванического элемента (В. Вольта, 1800 г.). Человеку, не располагающему соответствующими рецепторами, в принципе недоступно выполнение этой операции.

Приборы ручного уравнивания с рычажными магазинами сопротивлений (В. Томсон, 1862 г.) позволили частично автоматизировать операцию квантования измеряемой величины по уровню и по времени и полностью автоматизировать операцию индикации результата измерения в цифровой форме.

Трудоемкая операция регистрации результатов измерения в аналоговой форме была автоматизирована в самопишущих приборах (1892 г.).

Цифровые приборы (1950 г.) автоматизировали операции квантования по уровню и по времени измеряемой величины, индикации, регистрации и выдачи результатов измерения в цифровой форме.

Измерительные информационные системы полностью автоматизировали основные операции непосредственного процесса измерения, включая обработку (основную и дополнительную) измерительной информации в аналоговой и цифровой формах.

Выделены вспомогательные операции непосредственного процесса измерения, обеспечивающие повышение качества проведения измерения. Последнее тесным образом связано с трактовкой модели измерительного процесса, в развитии которой различаются этапы детерминизма, стохастичности и адаптивности. Изменение понятий качества измерения на различных исторических этапах приводило к видоизменению и обогащению вспомогательных операций.

Историческое исследование показало, что исключение систематических погрешностей путем контроля, настройки и поверки прибора было первой осмысленной человеком операцией, направленной на повышение качества измерения. К настоящему времени разработаны различные методы аппаратного исключения или уменьшения погрешностей, однако практическое их использование реализуется лишь в отдельных опытных или выпускаемых малыми сериями устройствах.

Выполнение операций по повышению надежности измерительного устройства стало особенно необходимо с применени-

ем сложных ИИС. Теоретическая сторона этой проблемы разрабатывается интенсивно и имеются практические реализации.

Простейший пример операции параметрической адаптации — ручное переключение пределов измерения (1888 г.). Автоматическое переключение пределов и полярности было реализовано в первых цифровых приборах (1950 г.). Операции временной и пространственной адаптации, очевидно, приобрели смысл с широким применением измерительных устройств в научных исследованиях и на производстве (конец XIX в.). В настоящее время теоретические вопросы названных, а также пространственно-временных и взаимных адаптаций успешно исследуются, некоторые способы их осуществления представлены в технически конкретной форме и имеются практические реализации в отдельных промышленных устройствах.

Дальнейшая автоматизация измерительных устройств идет по пути более глубокой передачи техническим устройствам операций, повышающих качество измерения. В результате проведенного исследования предполагается, что наиболее совершенными устройствами будущего явятся адаптивные (самоадаптирующиеся) и самовосстанавливающиеся устройства, которые совместно с ЭВМ и устройствами управления образуют единую информационную систему автоматизированных предприятий.

В данной главе показано, что более высокие уровни организации измерительных устройств, а также достижения вычислительной техники, приводят к ограничению роли человека в выполнении совокупности операций I этапа — подготовки к измерению и III этапа — анализа полученных результатов и принятия решений.

Шестая глава посвящена исследованию некоторых перспектив развития электроизмерительной техники.

На основе изучения изменения удельного веса различных групп электроизмерительных средств в общем объеме их выпуска, анализа проводимых в стране научных исследований и результатов их окончания выявлена современная структура электроизмерительной техники. Ожидаемые изменения ее в ближайшие годы определяются двумя направлениями: увеличится роль аппаратуры, позволяющей облегчить или совсем устранить процедуру снятия показаний приборов, и возрастает роль аппаратуры, предельно ограничивающей вмешательство человека в измерительный процесс. Практически реализация первого направления приводит к дальнейшему прогрессу развития цифровых приборов, широкому распространению средств регистрирующей техники, построению приборов, сочетающих точное аналоговое измерительное устройство с



цифровым отсчетом. Второе направление означает дальнейшее распространение ИИС.

Отмечается значительное увеличение выпуска средств электроизмерения, расширение их номенклатуры, улучшение технико-экономических показателей, дальнейшее развитие элементной базы, связанное с постепенным переходом на интегральные схемы.

На примере наиболее перспективных приборов — цифровых — рассмотрена методика анализа тенденций развития конкретной группы электроизмерительных средств. Показано, что развитие объекта целесообразно рассматривать по ряду аспектов: теоретические основы, технические параметры, элементная база, технология производства и др. Для каждого из аспектов выбраны методы анализа и определены конкретные составляющие информационного массива. Произведен целесообразный отбор структурных составляющих объекта исследования, подробный анализ которых даст возможность выявить будущую картину развития цифровых приборов при ограниченном объеме информационного массива.

Определены предельные показатели по основным параметрам цифровых приборов различного назначения, достигнутые к 1971 году и ожидаемые к 1975 году. В результате проведенного исследования предполагается, что в ближайшие годы отечественное цифровое приборостроение будет развиваться по пути повышения точности до 0,002—0,003%, чувствительности до 0,1 мкВ, быстродействия аналого-цифрового преобразования до  $10^7$  преобразований в секунду, расширения частотного диапазона до 200 кгц. Выявлены некоторые перспективные направления развития: создание помехозащищенных приборов с ослаблением уровня помех нормального вида до 160 дБ.; разработка дешевых универсальных приборов невысоких классов точности и дешевых щитовых цифровых приборов; создание универсальных вольтметров интегрирующего типа; выпуск различных устройств, расширяющих функциональные возможности цифровых приборов и др.

### Выводы

1. В результате проведенного исследования установлено, что эволюция электроизмерительной техники есть процесс развития двух измерительных методов: непосредственной оценки и сравнения и совершенствования приборов на их основе.

2. Выявлено, что видоизменение и обогащение методов измерения происходит медленнее, чем совершенствование использующих их технических средств. Создание новых средств, кроме методологического определялось рядом других фак-

торов: физико-технологическим, схмотехническим, структурным, программным.

3. Установлено, что эволюция электроизмерительной техники определялась разрешением противоречий между: необходимостью проведения сложных научных экспериментов и возможностью их осуществления; развитием промышленного производства и возможностями его контроля и управления: повышением сложности технических объектов и возможностями их обслуживания; ростом объемов измерительной информации и возможностями ее получения, обработки, передачи.

4. Показана целесообразность построения схемы периодизации, отражающей общую черту изучаемого процесса. В качестве такой общей характеристики предложено использовать степень автоматизации измерительного процесса, в соответствии с которой в развитии электроизмерительной техники выделены следующие периоды: I — подготовительный, II — показывающих приборов, III — аналоговых самопишущих приборов, IV — автоматических цифровых приборов, V — измерительных информационных систем,

5. Обоснован выбор для оценки уровня развития электроизмерительной техники информационного к. п. д. Показано, что он изменяется во времени по экспоненциальному закону. Сделан вывод, что по мере дальнейшего развития экспоненциальный характер закономерности изменится и функция перейдет в логистическую кривую.

Предложен метод нахождения весовых коэффициентов относительной значимости многочисленных технических параметров прибора и получения комплексной характеристики его качества. Теоретические результаты подтверждены проверкой на одном из классов приборов.

6. Установлено, что развитие электроизмерительной техники характеризуется непрерывным процессом передачи измерительных операций от человека к техническим средствам. Исследование этого процесса показало, что к 60-м годам XX в. были автоматизированы основные операции непосредственного процесса измерения. Продолжается передача техническим устройствам вспомогательных операций, способствующих повышению качества измерения, причем они постоянно видоизменяются и усложняются. Постепенно ограничивается доля труда человека в выполнении операций по подготовке к непосредственному процессу измерения и операций анализа полученных результатов и принятия решений.

7. Показано, что в ближайшие годы можно ожидать увеличения удельного веса аппаратуры, позволяющей ограничить участие человека в процессе измерения, в первую очередь цифровых приборов и измерительных информационных систем.

тем. Расширится номенклатура приборов, улучшатся технико-экономические показатели, дальнейшее развитие получит элементная база.

8. На основании предложенной методики исследования тенденций развития конкретной группы технических средств, определены перспективные направления развития цифровых приборов и предельные значения технических параметров, достижение которых можно ожидать к 1975 г.

9. Результаты диссертации использованы при выполнении научно-исследовательской работы совместно со Всесоюзным научно-исследовательским институтом электроизмерительных приборов по теме: «Изучение современного состояния и тенденций развития электроизмерительной техники. Потребности народного хозяйства в средствах электроизмерения».

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Развитие электроизмерительной техники как процесс передачи измерительных функций от человека к приборам. XII научная конференция аспирантов и младших научных сотрудников ИИЕТ АН СССР, М., 1969.

2. Статистический анализ диссертаций по электроизмерительной технике. «Информационно-измерительная техника», Труды Рязанского радиотехнического института, вып. 23, 1970 (в соавторстве).

3. Анализ состояния и развития измерительных информационных систем по их основным параметрам. «Оптимизация измерительной информации». Материалы отраслевой научно-технической конференции «Методы и средства получения измерительной информации», вып. 2, Рязань, 1970 (в соавторстве).

4. Сравнительная оценка качества измерительных приборов. «Оптимизация измерительной информации». Материалы отраслевой научно-технической конференции «Методы и средства получения измерительной информации», вып. 2, Рязань, 1970 (в соавторстве).

5. Количественная оценка уровня развития электроизмерительной техники. XIII научная конференция аспирантов и младших научных сотрудников ИИЕТ АН СССР, М., 1971.

6. Развитие техники измерения постоянного напряжения. Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума по истории физико-математических наук, Тамбов, 1971.

7. Закономерности развития электроизмерительной техники. XIV научная конференция аспирантов и младших научных сотрудников ИИЕТ АН СССР, М., 1972.

8. Формализованный анализ информации при прогнозировании развития технических объектов. «Информационно-измерительная техника», Труды Рязанского радиотехнического института, вып. 39, Рязань, 1972 (в соавторстве).

В диссертации также использованы результаты исследования, изложенные в статье «Аппаратура для измерения дрейфа напряжения горения стабилитронов тлеющего разряда». «Электронная техника, серия «Газоразрядные приборы», 1964, № 1 (в соавторстве).

Материалы диссертации обсуждались на научных конференциях (XII, XIII, XIV) аспирантов и младших научных сотрудников ИИЕТ АН СССР, на конференции «Методы и средства получения измерительной информации», Рязань 1970; на Всесоюзном симпозиуме по истории физико-математических наук, Тамбов, 1971; на конференциях профессорско-преподавательского состава, Рязань, радиотехнический институт, 1970, 1971.