

А. Н. ВЫСТАВКИН, Ю. В. ОБУХОВ, В. В. РОМАНОВЦЕВ
(Москва)

СПОСОБ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕРАКТИВНОГО РЕЖИМА ПРОВЕДЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЛАБОРАТОРНОГО ОБЩЕФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Введение. Создание и исследование интерактивных систем является одним из важнейших направлений развития работ в области автоматизации научных исследований. Определенные успехи достигнуты в разработке интерактивных систем управления [1], проектирования [2], обработки данных [3] и автоматизированного программирования [4]. Системы автоматизации большинства общефизических экспериментов имеют, однако, ряд отличий. Отметим здесь два, на наш взгляд, наиболее важных. Первое заключается в необходимости достаточно часто изменять план эксперимента и функциональную структуру установки, что влечет за собой изменение аппаратно-программных средств автоматизации; второе — в необходимости автоматизации на базе одних и тех же аппаратно-программных средств по возможности большего числа разнообразных экспериментов, проводимых в лаборатории или институте. В этой связи в лабораторных системах на первый план выступают вопросы разработки в достаточной степени унифицированных аппаратно-программных средств проведения экспериментов в интерактивном режиме.

В настоящей работе описывается структура и состав аппаратно-программного обеспечения, реализующего интерактивный режим работы лабораторной системы автоматизации общефизических экспериментов. Эту структуру мы определили на первом этапе, основываясь на опыте создания лабораторной системы автоматизации разнообразных экспериментов в области физической электроники, входящей в состав измерительно-вычислительной системы коллективного пользования (ИВСКП) Института радиотехники и электроники АН СССР. ИВСКП базируется на сети мини-ЭВМ «Nord-10/S» и последовательной магистрали КАМАК.

Структура аппаратно-программного обеспечения. Функциональный состав лабораторных систем автоматизации экспериментов достаточно широко освещался в литературе (см., например, [5, 6]). Как правило, лабораторные системы включают в себя подсистемы управления оборудованием экспериментальной установки, сбора, обработки, отображения и хранения данных. С точки зрения организации интерактивного режима проведения экспериментов наиболее важными являются подсистемы управления, сбора и отображения данных. Нашей задачей являлось создание такого аппаратно-программного обеспечения этих подсистем, которое в значительной степени не зависело бы от типа эксперимента и позволяло бы реализовать интерактивный режим. В этом режиме, по нашему мнению, экспериментатор должен иметь возможности выбирать различные приборы (из имеющихся в системе) для управления экспериментом и измерения физических величин; задавать по своему усмотрению режимы работы этих приборов; выбирать различные устройства для графического отображения данных как в ходе измерений, так и после них; задавать функцию и вид графика для ее отображения; вести эксперимент, т. е. решать, какие действия следует выполнить (например, провести калибровку устройств, провести измерения, обработать данные и отобразить их на выбранном устройстве, занести данные в архив и т. д.).

В этой части опишем сначала выбранную архитектуру и состав аппаратного обеспечения лабораторной системы автоматизации, затем — структуру разработанного программного обеспечения подсистем управления, сбора и отображения и в конце приведем типичную структурную

Измерительно-вычислительный центр

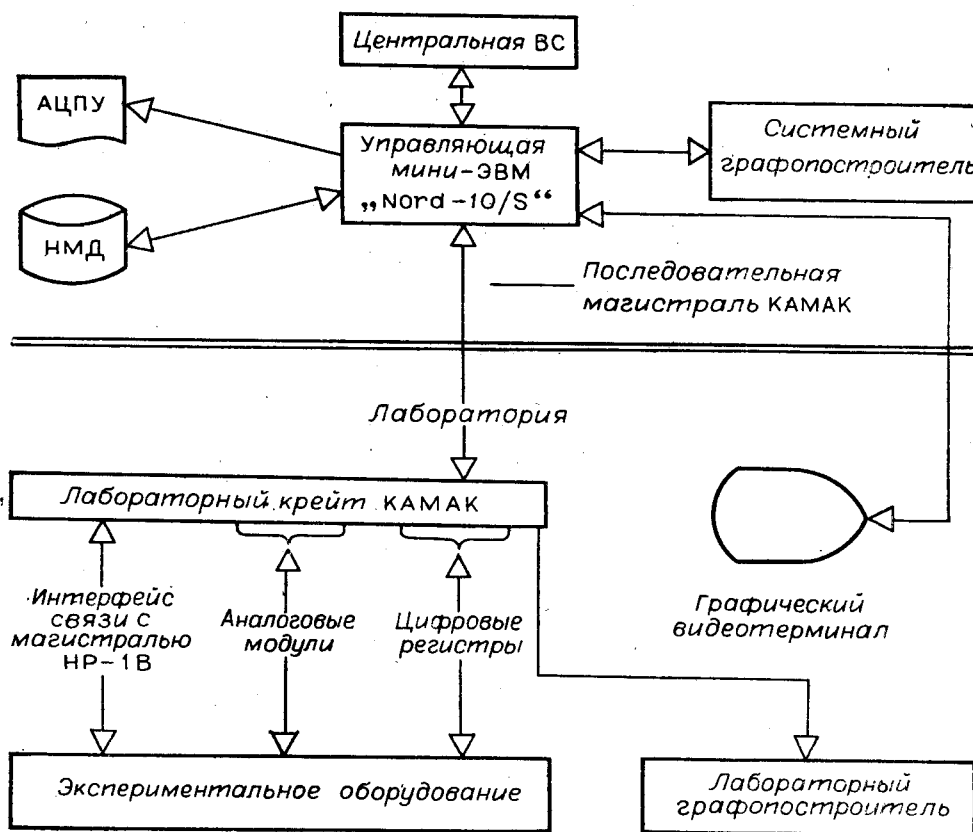


Рис. 1.

схему программы пользователя, базирующейся на описанном системном обеспечении и реализующей интерактивный режим работы.

Аппаратное обеспечение. Блок-схема аппаратного обеспечения системы автоматизации представлена на рис. 1. Связь управляющей мини-ЭВМ «Nord-10/S» с экспериментальными установками осуществляется с помощью последовательной магистрали КАМАК. Интерфейс связи КАМАК выбран по нескольким причинам, основной из которых является возможность использования широкого спектра серийных модулей. В базовый набор приборов и модулей входят 40-канальный релейный мультиплексор для коммутации аналоговых сигналов; системный мультиметр; аналого-цифровой преобразователь с регулируемым коэффициентом усиления; многоканальный цифроаналоговый преобразователь; модули связи с интерфейсами в других стандартах — НР-1В и ТТУ; выходные и входные регистры для управления реле, цифровыми схемами и приборами с нестандартными интерфейсами; графопостроитель и графический видеотерминал.

Общение пользователя с ЭВМ осуществляется с помощью графического видеотерминала «Тектроникс-4025». Область экрана терминала можно динамически разделять на рабочую, которая используется для графического отображения данных в реальном времени, и мониторинговую — для независимого алфавитно-цифрового диалога с ЭВМ. С помощью системы межмашинной связи с этого же терминала можно проводить работы на любой ЭВМ, входящей в сеть ИВСКП, в частности на ЭВМ более мощной конфигурации, предназначенной для проведения теоретических расчетов и моделирования. Кроме того, можно выводить данные на

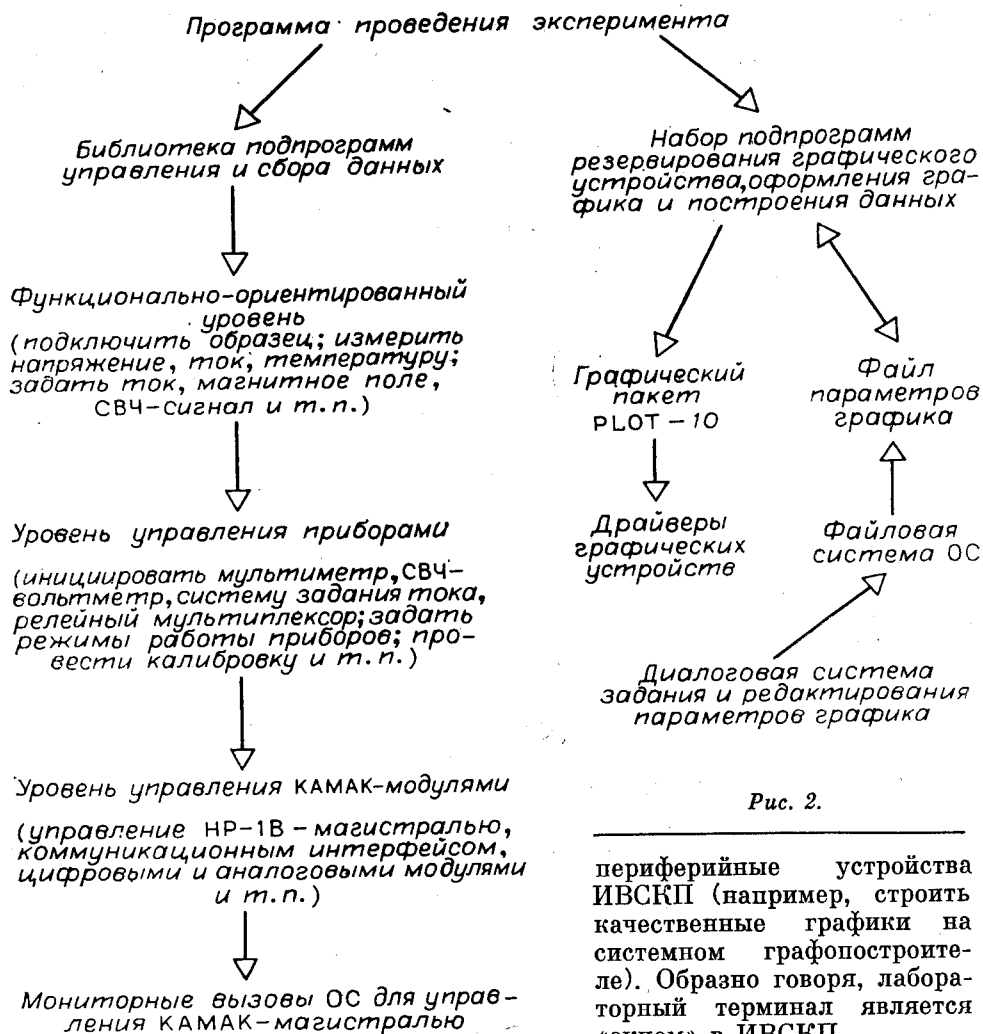


Рис. 2.

периферийные устройства ИВСКП (например, строить качественные графики на системном графопостроителе). Образно говоря, лабораторный терминал является «окном» в ИВСКП.

Программное обеспечение. Программное обеспечение интерактивного проведения эксперимента, блок-схема которого приведена на рис. 2, базируется на двух подсистемах — отображения данных в реальном времени и иерархической библиотеке подпрограмм управления приборами и модулями КАМАК.

Подсистема отображения данных. Стандартное программное обеспечение средств отображения состоит из графических команд дисплея и библиотеки графических подпрограмм PLOT-10. Обычно для графического отображения данных в прикладную программу пользователя вставляются подпрограммы графического пакета, причем некоторые пакеты [7] включают в себя ориентированные на пользователя подпрограммы оформления графика (построение и оцифровка осей, нанесение надписей и т. д.). Основной недостаток такого подхода заключается в необходимости модификации программы пользователя всякий раз, когда нужно изменить оформление графика — тип осей, содержание и расположение надписей и т. п. Мы организовали графическую подсистему таким образом, что всю служебную информацию о графике (файл параметров графика) пользователь задает до работы прикладной программы с помощью диалоговой системы построения и редактирования графиков. Этот файл не зависит от типа графического устройства и хранится на магнитных дисках. Из прикладной программы нужно лишь вызвать специальную подпрограмму оформления графика, которая содержит имя файла параметров графика и номер графического устрой-

ства в качестве формальных переменных. Естественно, что к файлу параметров имеется доступ и из прикладной программы. Такая структура подсистемы отображения позволяет легко изменять тип и форму графиков, выбирать нужное графическое устройство, а также избавляет программу пользователя от черновой работы по оформлению графика, а самого пользователя — от необходимости изучения десятков графических подпрограмм. Кроме того, путем привязывания параметров графика к физическим параметрам эксперимента реализуется графическая форма взаимодействия исследователя с экспериментом, причем способ организации такого взаимодействия в значительной мере унифицирован, т. е. не зависит от типа графика и эксперимента.

Подсистема управления приборами. Дисковая операционная система «Sintran-III/VS» управляющей мини-ЭВМ «Nord-10/S» имеет несколько мониторных вызовов для управления магистралью КАМАК, с помощью которых можно исполнять КАМАК-посылки, запускать программы по LAM-сигналам, анализировать состояние статусного регистра крейт-контроллера и т. д. Однако для увеличения гибкости управляющих программ пользователей целесообразно строить их на основе многоуровневого пакета подпрограмм, реализующих различные функции эксперимента. Такой подход позволяет создавать базовую библиотеку аппаратно-программных модулей автоматизации экспериментов в различных лабораториях института.

Нами разработан набор подпрограмм для приборов и КАМАК-модулей, входящих в состав описываемой системы (см. рис. 2). На верхнем уровне иерархии — функционально-ориентированные подпрограммы, реализующие различные типичные действия экспериментатора (включение измерительного тока, измерение напряжения и т. п.). Эти действия реализуются одним или несколькими физическими приборами и устройствами, которые управляются, как правило, несколькими КАМАК-модулями. Функционально-ориентированные подпрограммы базируются на приборно-ориентированных подпрограммах управления системным мультиметром и СВЧ-вольтметром, системами задания измерительного тока и магнитного поля, управления СВЧ-устройствами и другими функциональными системами эксперимента. Эти программные модули используют подпрограммы управления КАМАК-модулями и магистралью HP-IV. На самом нижнем уровне иерархии применяются мониторные вызовы управления КАМАК-магистралью операционной системы. Пакет написан на ФОРТРАНе-77, что позволяет при необходимости легко изменять подпрограммы.

Типичная структурная схема программы интерактивного проведения эксперимента. Типичная структурная схема программы обслуживания эксперимента приведена на рис. 3. В начале работы программы пользователю предлагается меню из подсистем ввода некоторых экспериментальных и технологических параметров, инициализации системы, проведения измерений и анализа данных.

Подсистема ввода данных. Эта подсистема предназначена, во-первых, для занесения в архив служебной информации об исследуемом объекте (технологические параметры приготовления образцов, номер образца, дата проведения эксперимента и т. п.) и, во-вторых, для ввода некоторых значений параметров эксперимента (максимально допустимые для данных образцов значения параметров, количество образцов и их соответствие каналам релейного мультиплексора и т. п.). «По умолчанию» параметрам эксперимента присваиваются начальные значения.

Подсистема инициализации приборов и проведения калибровочных измерений. Эта подсистема предназначена для проверки готовности приборов и модулей КАМАК, калибровки приборов и специализированных устройств управления, проведения калибровочных измерений для определения нормировочных коэффициентов.

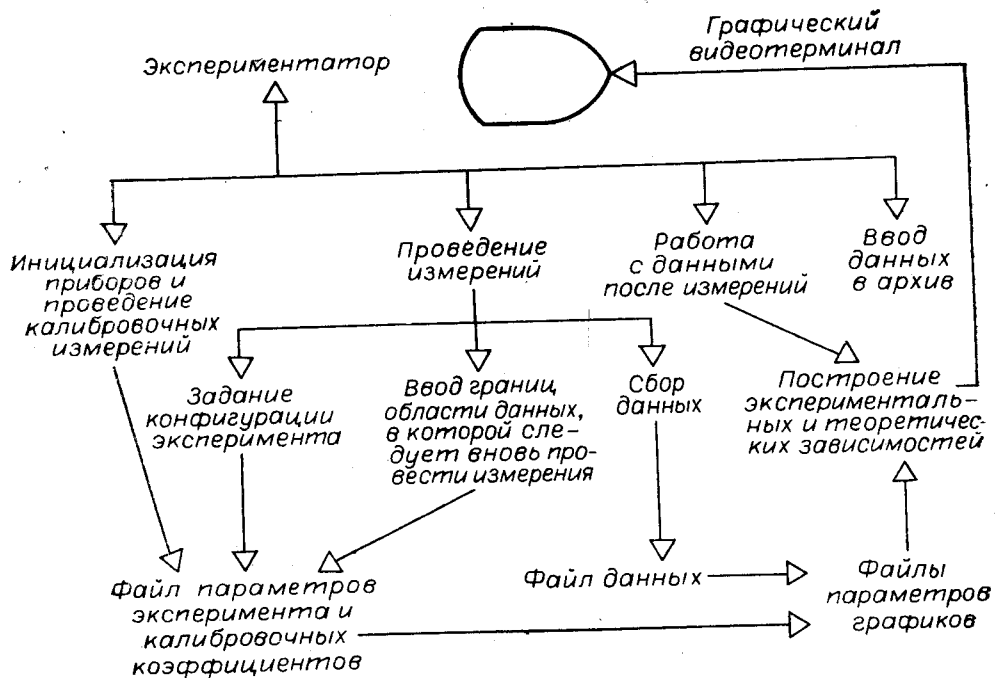


Рис. 3.

При работе с этой подсистемой экспериментатор проводит настройку оборудования, подбирает в ручном режиме оптимальные параметры и сигналы (например, при аналоговом измерении производных вольт-амперных характеристик он подбирает в ручном режиме подходящую амплитуду зондирующего сигнала и выполняет калибровочные измерения в автоматическом режиме на омическом сопротивлении для определения нормировочных коэффициентов).

Подсистема проведения измерений. Эта подсистема позволяет экспериментатору в режиме управления с помощью директив задавать конфигурацию эксперимента, т. е. выбирать устройства измерения (например, напряжение может измеряться системным мультиметром или аналого-цифровым преобразователем, который имеет большую скорость измерения, но худшее разрешение); выбирать устройства для отображения данных в реальном времени (графопостроитель, графический видеотерминал или запоминающий осциллограф, управляемый КАМАК-модулем); давать команду начала измерений или прерывать измерения; после проведения измерений и представления данных в графической форме задавать новую область физических переменных, в которой следует снова провести измерения с построением данных на вновь оформленном графике (мы называем это графической формой взаимодействия исследователя с автоматизированным экспериментом).

В качестве примера опишем один из этапов работы экспериментатора при исследовании слабосвязанных сверхпроводников. На рис. 4 приведены изготовленные на графопостроителе копии изображений экрана графического видеотерминала, полученные во время измерений вольт-амперных характеристик джозефсоновских переходов. После измерения одной из кривых (пунктирная кривая) экспериментатор дает команду включения СВЧ-поля и повторного проведения измерений. На вольт-амперной характеристике облученного перехода (сплошная кривая) появились ступеньки тока. Экспериментатор может дать команду WINDOW и задать границы «окна» параметров, после чего характеристика измеряется в новой области параметров (кривая на вставке).

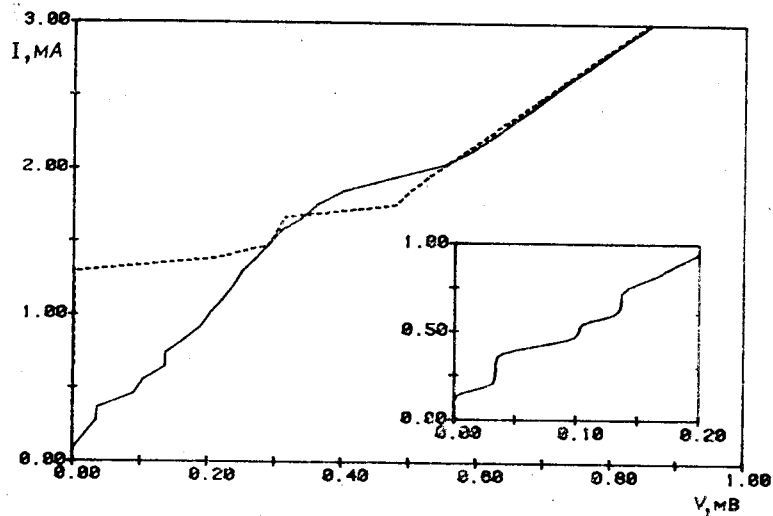


Рис. 4.

Подсистема работы с данными после измерений. В этой подсистеме пользователь может построить графики различных сечений области экспериментальных данных и сравнить их с теоретическими зависимостями. При этом, задавая различные сочетания возможных механизмов и строя теоретические зависимости на одном графике с экспериментальными данными, он может сравнивать вклад этих механизмов в различных областях экспериментальных параметров.

Приведем пример работы с данными исследований точечного контакта сверхпроводник — нормальный металл [8]. На рис. 5 точками показана экспериментальная зависимость нормированной дифференциальной проводимости от нормированной температуры. Верхняя сплошная кривая соответствует теоретическому поведению проводимости короткозамкнутого контакта, а нижняя — контакту с прослойкой изолятора. Проводимость реального контакта может быть обусловлена некоторым сочетанием этих механизмов. Задавая различные значения их соотношения и сравнивая построенную зависимость с экспериментальными данными (штриховые кривые), экспериментатор убеждается в отсутствии других механизмов и определяет качество образца. После этого он может дать команду на построение выбранной зависимости на графопостроителе для статьи или отчета.

После окончания работы в подсистеме экспериментатор может указать, какие данные следует занести в архив.

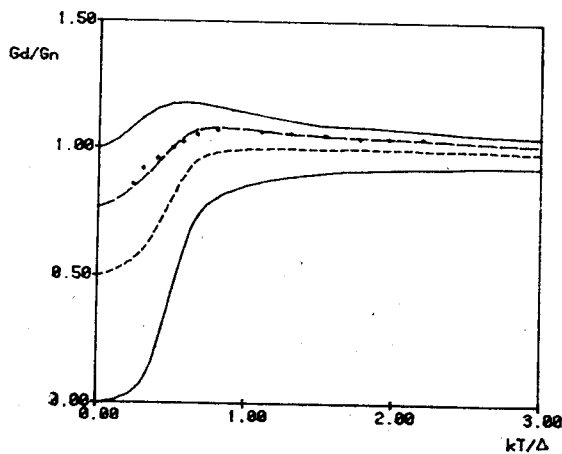


Рис. 5.

Заключение. На основе описанных системных аппаратно-программных средств и принципов организации программ проведения экспериментов были разработаны системы автоматизации разнообразных экспериментов в области СВЧ-криоэлектроники, позволяющие проводить в интерактивном режиме измерения вольт-амперных характеристик многих (вплоть до 40) образцов при различных температурах, магнитных полях и уровнях СВЧ-мощности.

В качестве примера укажем эксперименты по определению свойств пленочных сверхпроводниковых туннельных переходов, исследованию точечных контактов сверхпроводник — нормальный металл и шумов в точечных контактах Джозефсона. Как правило, для определения характеристик образцов необходимо измерить вольт-амперные характеристики переходов (а их в случае пленочного исполнения на одной подложке может быть более десяти) в различных областях токов и напряжений, при различных магнитных полях, температурах и уровнях СВЧ-воздействия. Если учесть, что постоянная времени измерений в одной точке может быть большой (порядка десятых долей секунды) вследствие малого уровня сигналов, то проведение всех измерений потребует времени, гораздо большего, чем время, за которое в дьюаре выкипит жидкий гелий. В интерактивном режиме экспериментатор, определив грубо основные характеристики образцов путем их измерения в сканирующем режиме с достаточным разрешением, может выбрать наиболее интересные образцы и области параметров и провести для них детальные измерения.

В заключение отметим, что описанные принципы и средства применяются и в других лабораториях Института, обслуживаемых ИВСКП, поскольку в них используются те же аппаратно-программные средства графического отображения и многие из описанных модулей КАМАК (а в случае применения других модулей КАМАК система может быть расширена).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шеридан Т. Б., Феррелл У. Р. Системы человек — машина.— М.: Машиностроение, 1980.
2. Person B. An Interactive Framework for Design Automation.— Automatic Programming, 1980, vol. 9, N 2-3, p. 51—59.
3. Ling R. F. General Consideration on the Design of an Interactive System for Data Analysis.— Comm. ACM, 1980, vol. 23, N 3, p. 147—154.
4. Negus B., Hunt M. J., Prentice J. A. DIALOG: A Scheme for the Quick and Effective Production an Interactive Application Software.— Software Practice and Experience, 1981, vol. 11, p. 205—224.
5. Cole H. System/7 in Hierarchical Laboratory Automation System.— IBM Syst. J., 1974, N 4, p. 307—324.
6. Выставки А. Н. Вычислительная техника в физических исследованиях.— Вестник АН СССР, 1979, вып. 4, с. 53—61.
7. Butland J., Butland S. D. An Easy-to-Use Graph Drawing Package.— Computer, 1980, vol. 13, N 2.
8. Губанков В. Н., Марголин Н. М. Нелинейные электрические и сверхвысокочастотные свойства микроконтактов сверхпроводник — нормальный металл.— ЖЭТФ, 1981, т. 80, вып. 4, с. 1419.

Поступила в редакцию 27 августа 1981 г.

УДК 681.322/378.14

**А. И. ДРУЖИНИН, А. Г. КОЗАЧОК, А. В. ЛОГИНОВ,
В. Н. САРНАДСКИЙ**
(Новосибирск)

МНОГОТЕРМИНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Широкое внедрение вычислительных машин в науку, технику и производство выдвинуло ряд новых требований к выпускникам высших учебных заведений. Коротко эти требования могут быть сформулированы так: молодой специалист, будь то инженер или исследователь, должен иметь прочные навыки самостоятельной работы на ЭВМ.