

УДК 681.142.4

О РАЗВИТИИ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕН-
ТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.А. Львов

Одной из основных проблем, возникающих при построении высокопроизводительных вычислительных систем (ВС) [1], является создание новой физико-технологической базы. Это вызывает необходимость исследования новых физических явлений, разработки и всестороннего испытания новых электронных узлов и схем, а также создания новых технологических установок для изготовления новых элементов. Объем исследовательской работы, который необходимо для этого провести, настолько велик, что осуществить его практически немисливо без автоматизации процессов проектирования и исследований физических свойств элементов и схем [2] и планирования проведения экспериментов.

Разработка новых микроминиатюрных полупроводниковых элементов для ВС поставила задачу широкого экспериментального исследования физических свойств применяемых новых материалов. Известные способы сравнительной оценки результатов экспериментов не позволяют выполнить огромный объем работы в приемлемые сроки. Выполненная в связи с этим работа по формализации физического эксперимента [3] дает возможность определить конкретные требования к созданию системы автоматизированного исследования, полностью реализующей логическую структуру эксперимента для исследования физических свойств элементов в широком диапазоне изменения их величин и обеспечивающей быстрое выполнение рутинной работы, оставляя на долю исследователя интеллектуальную работу

по оценке и осмысливанию полученных результатов.

Анализ путей технической реализации производственной базы для изготовления элементов вычислительной среды с приемлемой производительностью показывает [4], что как разработка технологического процесса, так и обслуживание технологической установки должны сопровождаться самым широким использованием управляющих машин для автоматизации анализа технологического процесса, поиска оптимальных условий его проведения, управления и поддержания рабочих режимов при работе установки.

Проектирование и исследование схем элементов также должно быть выполнено на основе автоматизированных систем, позволяющих за короткое время просмотреть много вариантов и выбрать наиболее подходящий. В результате проектирования должна быть непосредственно получена вся техническая документация, необходимая для передачи в производство.

Все перечисленные примеры подразумевают наличие высоко развитых и удобных средств связи исследователя (оператора) с автоматизированной системой проведения экспериментальных научных исследований. Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что для успешного проведения работы по созданию высокопроизводительных вычислительных систем необходимо выполнить ряд работ по автоматизации исследований и проектирования. Это может быть осуществлено при разработке соответствующих методов и средств:

- автоматизации сбора, регистрации и обработки экспериментальных данных при исследовании физических свойств материалов и элементов схем, а также технологических процессов для создания этих элементов;
- автоматического управления работой экспериментальных и технологических установок по априорной программе или по адаптивной программе, учитывающей анализ промежуточных данных в реальном времени;
- автоматизации проектирования и анализа электрических схем для выбора оптимальных параметров и конфигурации схем;
- анализа и оптимизации технологических процессов производства элементов ВС и планирования проведения экспериментов.

§ I. Основные принципы автоматизации экспериментальных исследований

В работах [5-7] указывается, что для решения поставленных задач при построении измерительно-вычислительного комплекса следует учитывать возможность легкой переналадки автоматической системы при изменении объекта исследования или способа обработки экспериментальных данных. Это условие выполняется в универсальных электронных цифровых вычислительных машинах (ЭЦВМ), допускающих гибкое использование имеющейся техники (вычислительной, технологической, связанной и т.д.) и алгоритмов обработки экспериментальных данных. Общая схема организации автоматизированного экспериментального исследования может быть изображена в следующем виде (рис. I):

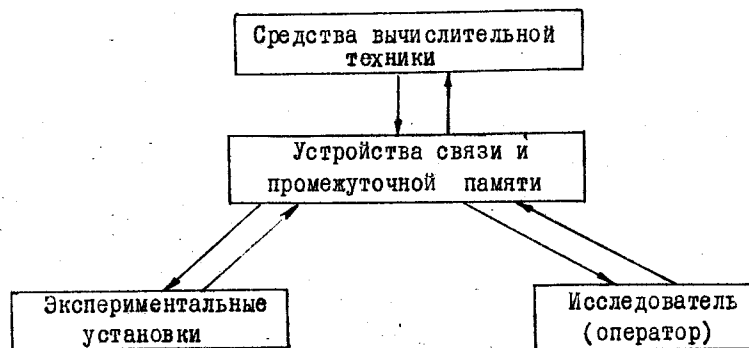


Рис. I. Схема организации автоматизированного экспериментального исследования.

Экспериментальной установкой (ЭУ), работа которой автоматизируется с помощью ЭЦВМ, будем называть комплекс любых приборов и устройств, позволяющих проводить данное исследование и являющихся источником сигналов, значения параметров которых содержат информацию об исследуемых явлениях и состоянии исследуемого объекта, а также исполнительных механизмов

для управления состоянием комплекса. ЭУ соединяется с оператором (исследователем) и с ЭЦВМ через устройства связи и промежуточной памяти. Количество ЭУ, обслуживаемое одной системой, может быть большим, их число ограничивается объемом памяти и вычислительной мощностью используемых ЭЦВМ.

Разработка ЭУ, определение её задач и свойств, оснащение необходимыми датчиками-преобразователями исследуемых явлений в электрические сигналы-выполняются, как правило, самим исследователем. Поэтому при разработке системы автоматизации ЭУ считается заданной. Естественно, что при создании ЭУ исследователь должен учитывать возможности и особенности системы автоматизации, доступной в данное время.

Рассматриваемые ниже вопросы автоматизации экспериментальных исследований будут касаться только следующих видов экспериментальных установок:

- ЭУ для снятия характеристик физических и технологических объектов;
- ЭУ в виде технологической установки для массового производства элементов ВС;
- ЭУ для моделирования процессов и проектирования электрических схем.

Устройства промежуточной памяти представляют собой регистрирующие устройства (РУ) различного типа, предназначенные для сбора экспериментальных данных и подготовки их для ввода в ЭЦВМ. В случае работы без непосредственной связи ЭУ с ЭЦВМ РУ производит накопление результатов измерений с последующим вводом их в ЭЦВМ и обработкой в свободное время. Каждое РУ, как правило, соединяется с одной ЭУ для упрощения эксплуатации и оперативности в работе.

Устройства связи с объектом (УСО) предназначены для преобразования разнообразных сигналов, поступающих от ЭУ, к виду, пригодному для восприятия ЭЦВМ, а также для преобразования команд ЭЦВМ в управляющие сигналы для приведения в действие исполнительных механизмов ЭУ. УСО обеспечивает передачу этих сигналов по линиям связи при дистанционном размещении ЭУ и ЭЦВМ. Для связи с оператором УСО должно иметь необходимые средства оперативного представления информации, включая различные преобразователи графической и алфавитно-цифровой информации и средства фиксации информации.

Состав и свойства устройств связи и промежуточной памяти имеют решающее значение в определении возможных применений средств вычислительной техники для автоматизации экспериментальных исследований и взаимодействия с оператором-исследователем. В зависимости от вида ЭУ и характера экспериментального исследования состав и свойства УСО и РУ могут отличаться очень сильно, в этом, собственно, и заключается различие разных систем автоматизации. Трудности в разработке системы автоматизации конкретного эксперимента в основном определяются отсутствием подходящих устройств УСО и РУ. Поэтому главное внимание в этой работе уделено определению необходимых свойств этих устройств, их разработке и применению.

Несмотря на большое различие ЭУ, можно выделить общие свойства УСО и РУ, позволяющие унифицировать их схемы и конструкции и создать набор универсальных УСО и РУ в модульном исполнении, пригодных для связи различных ЭУ с едиными средствами вычислительной техники.

При автоматизации научных исследований, особенно на первых порах, когда нет еще установившихся методик и алгоритмов проведения исследования, используемые средства вычислительной техники должны обладать достаточной гибкостью и резервом вычислительной мощности. В этом случае для связи с экспериментальной установкой упорядочения экспериментальных данных и их первоначальной обработки рационально применять сравнительно небольшую универсальную управляющую машину (УВМ), подключенную к очень большой ЭЦВМ или вычислительной системе, где выполняется основной объем вычислений. При создании систем автоматизации желательно использовать серийно выпускаемые вычислительные машины.

Для обработки экспериментальных данных по жестким алгоритмам могут быть использованы специализированные устройства (СУ), например, различные автоматические корреляторы, статистические анализаторы и т.д.; их применение целесообразно в некоторых случаях при обработке данных в больших сериях экспериментов по установившимся алгоритмам. Однако, на наш взгляд, такой путь автоматизации научных исследований не является перспективным, поскольку даже при небольших изменениях алгоритмов обработки эти устройства зачастую становятся непригодными для использования, а разработка и изготовление новых устройств требуют

много времени и затрат. Специализированные вычислительные устройства в большинстве случаев производят лишь предварительную обработку экспериментальных данных, поэтому в системе автоматизации должна быть предусмотрена передача полученных в них данных для последующей обработки в крупных вычислительных машинах.

Ниже все вопросы автоматизации научных исследований будут рассматриваться в основном с точки зрения использования универсальных цифровых вычислительных машин и систем с программной настройкой схемы на решение требуемой задачи.

Основные принципы построения системы автоматизации научных экспериментальных исследований (САНЭИ) и требования к отдельным узлам системы, предназначенным для решения задач, возникающих при разработке ВС, были высказаны еще в работах [5] и [6]. Отмечалось, что в результате применения САНЭИ можно ожидать существенное сокращение времени на проведение исследований; однако в то время практическое использование рекомендации этих работ затруднилось из-за отсутствия необходимых серийно выпускаемых технических средств для двусторонней связи в реальном времени между ЭЦВМ, с одной стороны, и исследователем и экспериментальной установкой — с другой.

За время, прошедшее после опубликования этих работ, средства обмена информацией с ЭЦВМ получили значительное развитие и на сегодняшний день включают в себя как набор различных быстроедействующих входных и выходных преобразователей, так и целые комплексы, предназначенные для сбора и упорядочения информации. Наибольшими возможностями в этом направлении обладают универсальные управляющие вычислительные машины (УВМ), не ограничивающие алгоритмов переработки информации и предусматривающие двустороннюю связь с внешними объектами [7]. Серийные образцы УВМ ("Днепр", УМТ-НХ) даже при автономном их использовании пригодны для автоматизации некоторых экспериментальных работ. При организации обмена цифровой информацией между ЭЦВМ можно на базе нескольких УВМ и одной-двух мощных универсальных ЭЦВМ реализовать САНЭИ для автоматизации любых крупных комплексных экспериментов.

В последнее время уже осуществлена разработка методик и алгоритмов проведения некоторых физических исследований [3, 8, 15, 17-19]. Опыт показывает, что методы автоматизированных исследований на базе применения ЭЦВМ и устройства связи между

экспериментальными установками и ЭЦВМ, разрабатываемые для создания высокопроизводительных вычислительных систем, могут быть использованы при решении многих проблем в различных отраслях науки. Это создает основу для проведения широкого фронта как теоретических, так и практических работ по созданию универсальных САНЭИ и их применению.

Большой интерес к созданию систем автоматизации экспериментальных работ проявляют в настоящее время и за рубежом. Кроме вопросов практического использования ЭЦВМ для обработки экспериментальных данных и управления ЭУ [9, 10], зарубежные авторы много внимания уделяют взаимодействию человека с машиной в единой системе (см., например, [11, 25]).

Целью данной работы является рассмотрение общих принципов подхода к решению некоторых из перечисленных задач, имеющих существенное значение для создания физико-технологической базы производства вычислительных систем, а также определение направления разработки средств и методов автоматизации экспериментальных исследований. Практическое внедрение разработанных в Институте математики СО АН СССР средств и методов осуществлялось прежде всего для автоматизации исследований элементов и схем однородных вычислительных средств и для автоматизации технологической установки, предназначенной для производства элементов ВС.

§ 2. Организация работ при проведении автоматизированных экспериментальных исследований

Прежде чем перейти к рассмотрению средств автоматизации экспериментальных исследований, необходимо определить их место и роль в процессе экспериментальных исследований. Порядок проведения работ при выполнении практически любого автоматизированного исследования можно изобразить в следующем виде (рис. 2).

Перед осуществлением эксперимента исследователь обязан четко сформулировать задачи предполагаемого эксперимента 1, а затем осуществить его формализацию 2. Этапы формализации процесса исследования и составления программы его проведения достаточно подробно описаны в [3], где введены для этого необходимые понятия и определения, которыми мы будем пользоваться в дальнейшем.

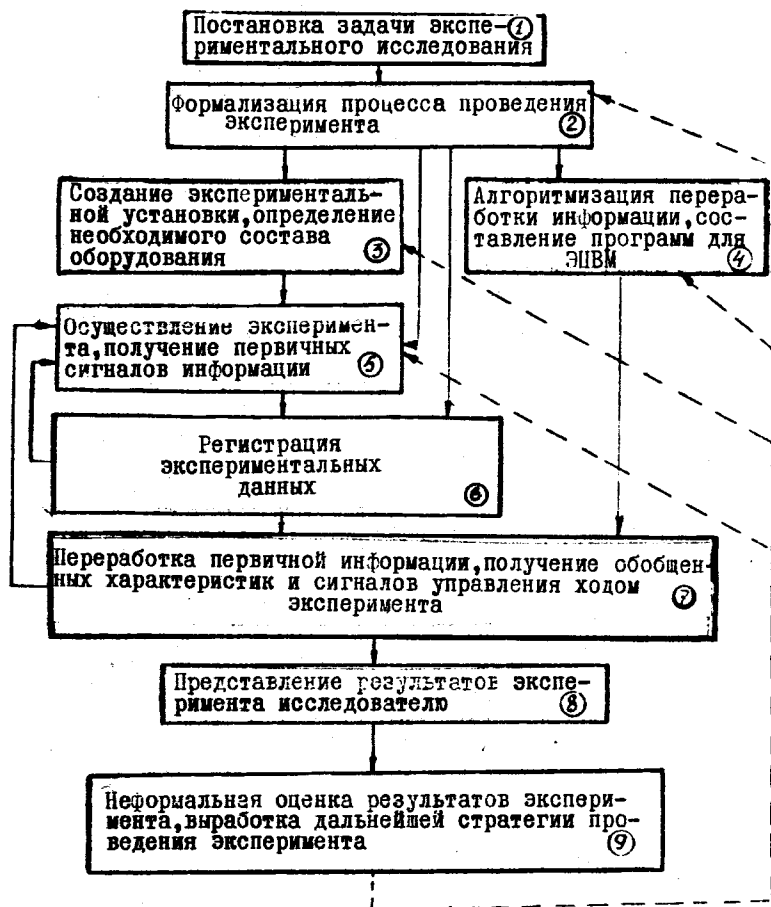


Рис.2. Организация работ при проведении автоматизированного экспериментального исследования.

В результате формализации эксперимента должны быть сформулированы требования к созданию экспериментальной установки 3. Порядок проведения эксперимента, виды первичных сигналов информации и предполагаемый диапазон их изменения 5, желательный порядок и способ регистрации экспериментальных данных 6, законы обработки полученной информации для составления алгоритмов и программ переработки информации на ЭЦВМ 4 могут быть определены только самим исследователем, поскольку он лучше всех может разобраться в существе исследуемых явлений.

Переработка первичной информации 7, получаемой при проведении эксперимента, может производиться с помощью как универсальных, так и специализированных ЭЦВМ. В результате такой обработки получают обобщенные характеристики исследуемого процесса или явления, а также вторичные параметры объекта исследования. Обратная связь между блоками 7 и 5 отражает возможность переработки информации непосредственно в ходе физического эксперимента и выдачи сигналов управления на основе анализа промежуточных результатов. Обратная связь с блока 6 на блок 5 отражает возможность программного управления параметрами ЭУ в ходе эксперимента и регистрации результатов измерений.

Результаты обработки экспериментальных данных должны быть представлены исследователю в виде, удобном для их интерпретации 8. Оценка полученных результатов чаще всего дается самим исследователем неформальным способом (блок 9). Полученные новые данные могут повлиять на установленный порядок проведения эксперимента и алгоритм переработки информации. После внесения необходимых изменений и поправок в соответствующих местах (на блок-схеме эти воздействия показаны пунктиром) экспериментальное исследование либо повторяется, либо продолжается.

Таким образом, требования, предъявляемые к необходимым средствам автоматизации ЭУ, могут быть сформулированы только после выполнения формального описания каждого конкретного экспериментального исследования. Эти требования составляются исследователем совместно со специалистом по автоматизации с учетом реально существующей технической базы. На этой стадии исследователь должен представить исчерпывающий список выполняемых на ЭУ действий, измеряемых величин и необходимых операций по их обработке, а специалист по автоматизации должен определить полный пе-

речень датчиков и исполнительных механизмов для оборудования ЭУ, выбрать средства регистрации первичной информации и подготовки её для ввода в ЭЦВМ. Эти сведения используются для уточнения формального описания процесса эксперимента. При окончательной формулировке формального описания должны быть учтены доступные для данной САНЭИ средства вычислительной техники и выбранный метод использования универсальных ЭЦВМ для обработки первичных сигналов информации и управления экспериментом, а также способы использования устройств ввода и вывода результатов обработки в удобном для исследователя виде.

Особое положение занимает работы, включенные в состав блока 4. Выработанный в процессе формализации алгоритм проведения эксперимента является лишь основой для разработки алгоритма машинной переработки информации и управления ЭУ, а также составления программ для ЭЦВМ. Решение этих задач сейчас в большинстве случаев встречает значительные трудности из-за отсутствия соответствующих специалистов и проблемно-ориентированных языков и трансляторов, которые в большой степени влияют на качество работ по автоматизации научных исследований и на успех их внедрения.

§ 3. Виды САНЭИ

В каждом конкретном случае возможный вариант автоматизации научных исследований зависит от ряда факторов, которые необходимо принимать во внимание в практической работе, а именно:

1. от степени подготовленности исследователя к использованию САНЭИ в своей работе;
2. от степени формализации процесса проведения эксперимента;
3. от доступности ЭЦВМ для использования и её оснащенности устройствами связи с объектом (УСО) и внешними устройствами ввода и вывода информации;
4. от возможности технического оснащения ЭУ измерительными датчиками и исполнительными механизмами, согласованными с УСО;

5. от производительности вычислительной части применяемой ЭЦВМ или вычислительной системы и от доступного объема памяти в системе.

Первые два фактора определяются подготовкой самого эксперимента к автоматизации и относятся к методологической части проблемы. Остальные факторы определяются техническими средствами.

Практически по ряду причин бывает почти невозможно сразу создать полностью автоматизированную замкнутую систему автоматизации проведения экспериментов. Как показал опыт работы, преждевременные и технически не обеспеченные попытки полностью автоматизировать процесс эксперимента и заменить человека техническими средствами приводят к провалу работы и дискредитации самой идеи САНЭИ.

Практическое осуществление САНЭИ в значительной степени определяется степенью доступности ЭЦВМ и её технической оснащенностью. Рассмотрим два случая (рис. 3).

1. ЭЦВМ недоступна для непосредственного подключения к ЭУ.

2. Возможна прямая связь по каналам связи с ЭЦВМ.

В первом случае практически возможный вариант САНЭИ заключается в предварительной регистрации информации, поступающей от датчиков ЭУ, и в её подготовке для ввода в ЭЦВМ. Естественно, что при этом ввод данных в ЭЦВМ, их обработка и выдача результатов могут производиться только после окончания эксперимента. Этот вариант САНЭИ представляет собой незамкнутую систему автоматизации. Основная задача незамкнутой системы заключается в автоматизации сбора экспериментальных данных, поступающих от исследуемого объекта, подготовки их для ввода в ЭЦВМ, обработки по определенным алгоритмам и выдачи результатов обработки в подходящей форме. Отсутствие обратного воздействия на эксперимент дает возможность не предъявлять особых требований к быстродействию вычислительной части системы.

Такая постановка задачи является типичной для исследования малоизученных явлений и процессов, математическая модель которых неизвестна. В этих случаях применяются сравнительно простые экспериментальные установки, но при относительно простых алгоритмах обработки объем исходной информации бывает ве-

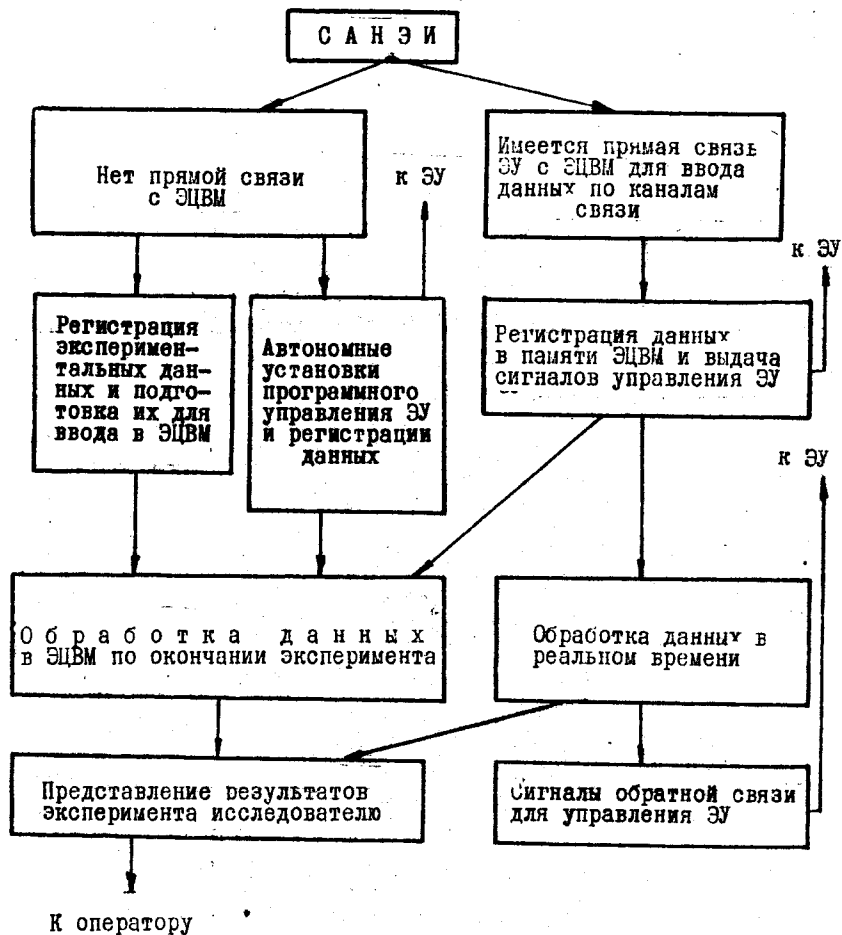


Рис. 3. Незамкнутые и замкнутые САНЗИ.

лик. Поэтому первоочередной задачей для подобных экспериментов является автоматизация регистрации и обработки экспериментальных данных.

Для более сложных исследований (многофакторные эксперименты, исследования в нестационарных режимах и т.д. [3,6]) в процессе проведения эксперимента, кроме сбора и регистрации экспериментальных данных, требуется производить управление некоторыми параметрами ЭУ. Но обратная связь к ЭУ в виде сигналов управления для данного эксперимента является жесткой и служит только для включения факторов внешнего воздействия на ЭУ в ходе эксперимента согласно априорно установленной программе. Поэтому такую систему следует также считать незамкнутой, поскольку результаты обработки данных не влияют на ход эксперимента и выдача результатов производится по окончании эксперимента.

Управлять экспериментом может как универсальная управляющая ЭЦВМ, так и автономные установки. В последнем случае регистрация результатов измерений производится в машиночитаемом виде либо на стандартных носителях, либо непосредственно в ОЗУ ЭЦВМ.

Возможность применения ЭЦВМ для непосредственного управления ЭУ в такой незамкнутой системе обусловлена выполнением ряда условий:

а) ЭЦВМ должна быть доступна для работы с данным экспериментом в удобное для исследователя время или обладать достаточно развитой и обеспеченной математической системой прерывания, допускающей одновременное выполнение вычислительных задач и обслуживание нескольких ЭУ.

б) Суммарная скорость поступления информации от всех ЭУ должна быть согласована с быстродействием машины.

в) ЭЦВМ должна обладать подходящим набором средств опроса аналоговых и дискретных датчиков, коммутаторами датчиков и преобразователями поступающей информации в цифровую форму.

Оба описанных варианта незамкнутой САНЗИ можно рассматривать как необходимые подготовительные этапы для осуществления полностью автоматизированной замкнутой системы. Во время выполнения работ по внедрению этих вариантов отработаются методики сбора данных от ЭУ и алгоритмы обработки данных в ЭЦВМ, проверяются способы и средства управления ЭУ, уточ-

няется форма представления результатов эксперимента.

В замкнутой активной системе автоматизации сбор информации от ЭУ и обработка экспериментальных данных производится в реальном времени, и на основании получаемых результатов осуществляется управление экспериментом. Технические средства должны обеспечивать оперативное представление информации о ходе эксперимента и допускать вмешательство в ход эксперимента со стороны оператора.

Очевидно, что осуществление этого варианта САНЭИ возможно только при наличии прямой и обратной связи ЭУ с ЭЦВМ и достаточной мощности вычислительной части, позволяющей производить сбор данных и обработку информации в реальном времени. Ряд вопросов организации замкнутой САНЭИ описан ниже в § 5.

§ 4. Классификация видов первичных сигналов информации и средств их регистрации

При работе экспериментальной установки в процессе эксперимента на выходе включенных датчиков образуются первичные сигналы информации, которые и используются для получения нужных сведений об эксперименте. Необходимый характер и глубина переработки первичных сигналов зависят от вида и назначения конкретного эксперимента. Здесь целесообразно рассмотреть общие свойства различных видов первичных сигналов информации, а также средств их первичной обработки и подготовки для ввода в ЭЦВМ (рис.4).

Первичные сигналы информации могут быть электрической и неэлектрической природы. Сигналы неэлектрической природы перед регистрацией и кодированием в большинстве случаев преобразуются в электрические сигналы, но регистрация их может также осуществляться и минуя электрическую форму (например, регистрация фотографий, рисование эскизов деталей при проектировании, составление таблицы чисел как результат обмера и т.п.). Электрические сигналы чаще всего могут быть представлены либо в виде сигналов постоянного и переменного тока, либо в виде импульсов. Другие более сложные виды сигналов практически встречаются чрезвычайно редко.

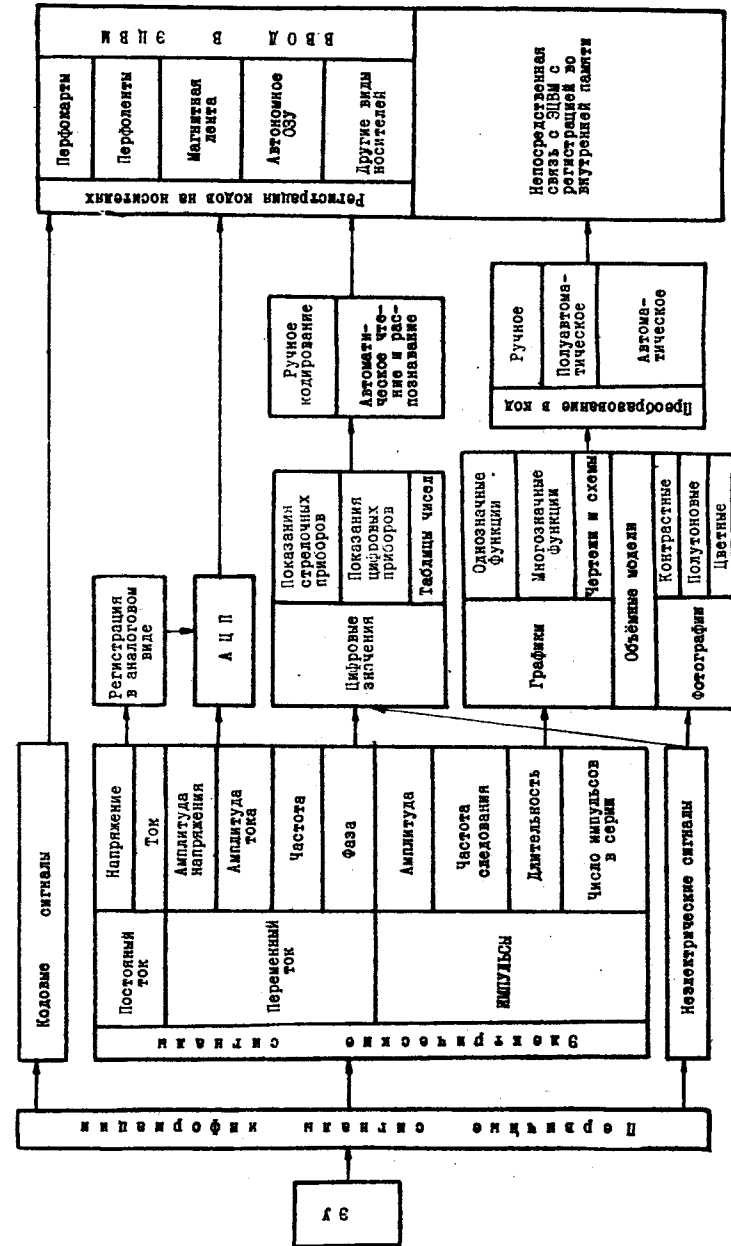


Рис.4. Классификация первичных сигналов информации и их регистрации.

В качестве датчиков первичных сигналов информации наиболее часто служат датчики постоянного напряжения и тока. Реже применяются датчики переменного тока. В последнем случае используются такие параметры, как амплитуда напряжения и тока, частота переменного тока и его фаза. Если в качестве первичных сигналов информации поступают электрические импульсы, то регистрируются амплитуда импульсов и их длительность, частота следования импульсов (интервалы времени между импульсами) или число их в серии. Аналоговые сигналы перед вводом в ЭЦМ преобразуются в цифровой код с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Необходимость включения АЦП связана в значительной мере с тем, что в подавляющем большинстве случаев существующие датчики, подключаемые к ЭУ, разрабатывались для аналоговой измерительной и обрабатывающей техники. При разработке и внедрении дискретной вычислительной техники более целесообразно оснащать ЭУ датчиками, выдающими кодовые сигналы, пригодные для непосредственного использования. Такие датчики только начинают разрабатываться и, например, даже известные кодовые датчики угловых перемещений до сих пор не выпускаются серийно отечественной промышленностью.

Вид регистрации экспериментальных данных зависит от целей эксперимента, последующей обработки и, что не менее важно, от доступных технических средств. Регистрация может быть осуществлена:

- а) в виде таблиц цифровых значений измеренных параметров,
- б) в аналоговом виде,
- в) в виде графиков, моделей и фотографий,
- г) в кодовом виде.

Цифровые значения могут быть получены как результат ручной записи показаний стрелочных и цифровых приборов. Ряд существующих цифровых измерительных устройств оборудован устройствами автоматической цифропечати, результатом работы которых являются колонки чисел. В некоторых случаях составленные исследователем таблицы чисел (рукописные или машинописные) могут быть исходными данными для проведения эксперимента и работы ЭУ. Цифровые значения могут быть зарегистрированы на различных учетных и информационных карточках и бланках, которые используются в качестве справочных материалов при обработке экспериментальных данных. Кодирование подобных таблиц цифровых значений сейчас чаще всего осуществляется вруч-

ную. При автоматизации этого вида работы большое значение приобретает ведущиеся у нас в стране и за рубежом разработки читающих и распознающих автоматов.

Регистрация экспериментальных данных в аналоговом виде может рассматриваться как промежуточный этап для временного хранения сигналов информации. При воспроизведении эти сигналы подвергаются преобразованию в АЦП аналогично исходным. Одной из разновидностей регистрации данных в аналоговом виде является применение самописцев, результатом работы которых являются разнообразные графики однозначных и многозначных функций. Графическая информация является весьма удобной и наглядной для визуальной оценки формы регистрации экспериментальных данных. Эта форма регистрации, по-видимому, сохранится еще долго, иллюстрируя характер изменения сигналов в ходе эксперимента и особенно при синхронной регистрации этих же сигналов в кодовой форме, исключая необходимость перекодировки графиков. Если графическая форма регистрации данных при проведении эксперимента является основной, то для обработки этих данных неизбежным будет применение специальных устройств преобразования графиков в код, поскольку ручное кодирование ординат графиков — очень тяжелый и длительный процесс. Вопросам создания автоматических устройств кодирования графиков посвящен целый ряд отечественных работ (см., например, [12, 13]). Здесь отметим лишь, что, по нашему мнению, полностью автоматизированные считывающие устройства не смогут успешно справиться со всем многообразием встречающихся ситуаций: например, с расшифровкой многократных пересечений многоканальных записей; кодированием машиностроительных чертежей и электрических схем. В этих случаях удобными оказываются полуавтоматы, где человек-оператор осуществляет распознавание ситуации, а кодирование производится автоматически [21]. Вероятно, такие устройства найдут применение в ближайшем будущем для кодирования сложных чертежей и схем, пространственных кривых и объемных моделей.

При регистрации экспериментальных данных в виде фотографий желательно применять автоматические кодирующие устройства с машинным распознаванием изображений. Это — большая новая область, рассмотрение которой выходит за рамки данной статьи.

Регистрация экспериментальных данных в кодовом виде является непременным условием подготовки данных для обработки на

ЭЦВМ, поэтому этот вид регистрации следует рассмотреть подробнее.

Регистрацию экспериментальных данных в кодовом виде наиболее целесообразно осуществлять непосредственно в машиночитаемом виде на носителях, используемых в ЭЦВМ. При любом другом виде регистрации, как мы уже видели, требуется преобразование информации — перекодировка и приведение к машиночитаемому виду. Это вносит известные неудобства и занимает много времени.

Для регистрации экспериментальных данных в кодовом виде в качестве носителей информации могут применяться:

- а) перфокарты,
- б) перфоленты,
- в) магнитная лента,
- г) автономно используемые блоки ОЗУ от ЭЦВМ,
- д) другие виды носителей (например, магнитные барабаны и диски и т.п.).

Как особый случай нужно рассматривать непосредственную связь ЭУ с ЭЦВМ. Результаты измерений в этом случае заносятся прямо в память ЭЦВМ и размещаются там согласно алгоритму проведения эксперимента программным путем.

При проведении эксперимента регистрацию информации на перфокартах использовать не совсем удобно, так как перфорирующие устройства громоздки и можно перепутать карты, а это при отсутствии на каждой карте кодовых меток может привести к полной потере информации. Однако в ряде случаев регистрацию на перфокартах приходится применять, поскольку некоторые из существующих ЭЦВМ (например, М-20) не имеют иных вводных устройств.

В качестве носителя информации удобно применять бумажную перфоленту, так как ввод с перфоленты имеется во многих ЭЦВМ. Один из разработанных регистраторов такого типа описан в [14].

Создание универсальных регистрирующих устройств затрудняется неоднотипностью кодирования входной информации и служебных комбинаций почти у всех существующих ЭЦВМ. В этой связи унификация внешних устройств и принципов кодирования вводимой информации является чрезвычайно необходимым мероприятием. Сравнительно невысокая скорость работы перфораторов вносит ограничения на максимально возможную частоту опроса измерительных датчиков ЭУ. Поэтому регистрация данных на перфоленту

может быть применима только для медленнопротекающих процессов. Например, при использовании перфоратора ПД-80 можно получить максимальную скорость регистрации 10-15 измерений в секунду.

Весьма перспективным для регистрации экспериментальных данных является применение стандартных накопителей на магнитной ленте (НМЛ) используемой ЭЦВМ. Такая лента с записью экспериментальных данных может быть просто вставлена в стандартный НМЛ ЭЦВМ для считывания с неё информации обычным для ЭЦВМ способом. Это очень упрощает и ускоряет ввод в ЭЦВМ большого массива экспериментальных данных. Область применения обычных НМЛ для регистрации экспериментальных данных ограничивается постоянной скоростью протяжки ленты, т.е. режим регистрации определяется режимом работы НМЛ (например, 16-20 кгц для НМЛ М-20). Для регистрации экспериментальных данных с неравномерной частотой поступления более удобно применять магнитофон с шаговым приводом. В этих магнитофонах предполагается использовать магнитную ленту шириной 12,5 мм с записью по 4 дорожкам. Судя по предварительным данным, скорость регистрации при использовании шагового магнитофона может быть получена до 100-200 каналов измерений в секунду.

Как было выше отмечено, частота регистрации данных в машиночитаемом виде на различных носителях в основном не превышает нескольких сотен измерений в секунду. Для быстропротекающих процессов такая частота недостаточна. Увеличение скорости регистрации может быть достигнуто с помощью быстродействующих аналого-цифровых преобразователей и записи кодов непосредственно в автономно работающих блоках ОЗУ; информация из последних считывается по командам из ЭЦВМ [12]. Частота регистрации в такой системе определяется длительностью цикла записи кода в ОЗУ и может достигать нескольких сотен кгц. Осуществление подобной системы возможно при близком взаимном размещении ЭУ, автономных ОЗУ и ЭЦВМ. Непосредственная связь регистрирующих устройств и ЭЦВМ с передачей информации параллельным кодом повышает надежность передачи информации, сокращает потери времени между получением информации и началом её обработки.

Чтобы достичь большей гибкости САНЭИ на практике, необходимо иметь широкий набор регистрирующих устройств, желательно в блочном (модульном) исполнении. Параметры этих устройств еще предстоит уточнить на основе анализа требований, которые к ним предъявляются со стороны ЭУ. Уже сейчас ясно, что регистрирующие уст-

ройства должны различаться по быстродействию (от единиц сек. до долей мсек), по числу регистрируемых каналов и по виду применяемых для регистрации носителей информации. Эти устройства должны быть взаимозаменяемы, должны использовать унифицированные (нормированные) входные сигналы, единую систему связи для обмена информацией между блоками. Следует разработать и применять единую систему кодирования информации для ввода в ЭЦВМ.

Для программного управления экспериментом универсальные устройства должны содержать блоки программного опроса каналов и выдачи управляющих сигналов. Результаты измерений сигналов с датчиков кодируются и регистрируются в машиночитаемом виде аналогично описанному выше. В качестве примера можно сослаться на устройство [16], содержащее 25 универсальных каналов, которые используются как для опроса датчиков, так и для выдачи управляющих сигналов. Благодаря легкой смене программы с помощью перестановки штеккеров на коммутационном поле обеспечивается универсальность устройства и пригодность его для управления различными экспериментальными установками и подготовки результатов измерений для ввода в ЭЦВМ.

При наличии таких универсальных программных устройств подготовка эксперимента для автоматизации заключается в выборе необходимых датчиков, составлении схемы их подключения к измерительным каналам установки, определении порядка включения каналов и набора программы проведения эксперимента на коммутационном поле установки. В перспективе следует иметь 2-3 вида подобных программных устройств, отличающихся скоростью работы коммутатора и видом применяемого носителя для регистрации данных.

При большой избыточности измерительной информации, поступающей от датчиков ЭУ, желательно до регистрации использовать известные методы и устройства предварительной обработки данных для сокращения избыточности.

§ 5. Замкнутые системы

Замкнутая активная САНЭИ характеризуется наличием цепей обратных связей. Обобщенная блок-схема замкнутой системы изображена на рис.5.

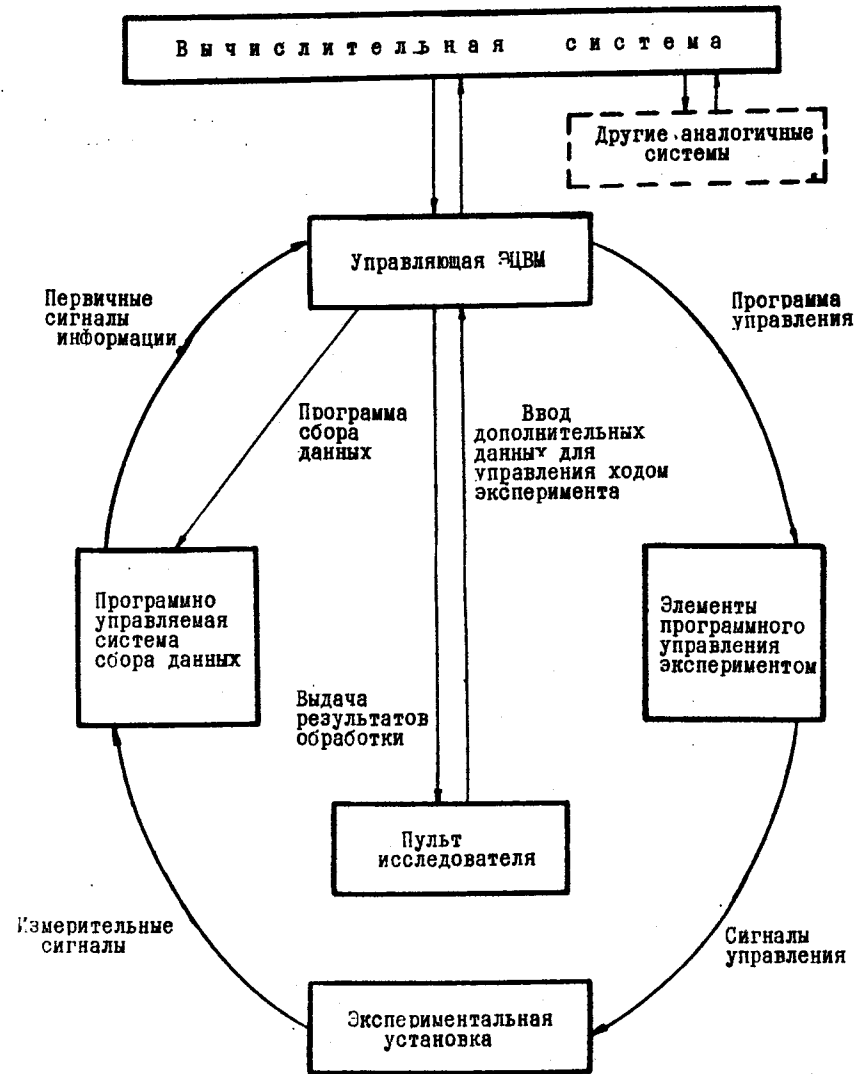


Рис.5. Замкнутая система САНЭИ.

В замкнутой системе измерительная информация от датчиков ЭУ через программно управляемую систему сбора данных (содержащую различные коммутаторы, преобразователи информации и т.д.), поступает для обработки в ЭЦВМ. Результаты обработки немедленно отражаются на визуальном индикаторе пульта исследователя, а также подаются обратно в ЭУ в виде сигналов управления, вырабатываемых в системе управления для регулирования параметров ЭУ (например, поддержания их на заданном уровне или изменения по определенному закону и т.п.) и управления ходом эксперимента на основании полученных результатов обработки. Исследователь, сидя за пультом, может выбрать ту или иную форму представления интересующих его результатов. С помощью клавиатуры или других средств он может вносить дополнительные данные, изменять начальные данные и оперативно вмешиваться в ход эксперимента.

Такая система организации эксперимента может потребовать довольно большой скорости работы вычислителя управляющей ЭЦВМ. Использовать непосредственно крупную ЭЦВМ для этой цели экономически нецелесообразно. Более эффективна в качестве ЭЦВМ, включенной в замкнутую схему, — сравнительно небольшая универсальная управляющая ЭЦВМ. Эта ЭЦВМ будет работать только как вводная-выводная машина, осуществляющая прием данных и выдачу результатов обработки и сигналов управления. Основной объем вычислений при этом будет производиться в мощной вычислительной системе, позволяющей одновременно обслуживать целый ряд экспериментов и проводить обычные вычислительные работы.

С целью опробования методов использования замкнутых систем для обработки экспериментальных данных и управления экспериментом в Институте математики СО АН СССР используется управляющая ЭЦВМ "Днепр", объединенная в систему с ЭЦВМ "Минск-22". Ввиду сравнительно небольшой скорости вычислений и ограниченного объема памяти, автономно работающая машина "Днепр" может быть применена только для управления сравнительно простыми экспериментами. Так, например, она использовалась для автоматизации коррекции длительности напыления тонких пленок при изменении температуры испарителя [17] и для автоматизации исследования технологической матрицы, состоящей из 50 шт. бистабильных диодов [18].

При использовании ЭЦВМ для управления напылением пленок машина через каналы связи производила опрос датчиков температуры испарителя, определяла по заданной формуле необходимое время

открытия затвора испарителя и выдавала сигнал управления затвором. По окончании напыления каждой пленки машина выдавала управляющий сигнал для переключения следующей маски и подложки, контролируя общее количество проведенных напылений. Автоматическая коррекция времени напыления при изменении температуры испарителя позволила в два раза сократить разброс параметров пленок по сравнению с управлением процессом напыления от специализированной установки. Проведенный эксперимент показал целесообразность использования ЭЦВМ для контроля напыления при длительной работе вакуумной напылительной установки.

При исследовании матрицы бистабильных диодов роль оператора сводится к подключению матрицы к измерительному разъему и запуску установки. За счет совмещения измерений, автоматического выбора диодов из матрицы и одновременной обработки измерений и выдачи результатов резко сокращаются сроки проведения испытаний каждой матрицы диодов и исключаются субъективные ошибки в оценке характеристик.

Пример использования ЭЦВМ в замкнутой системе для автоматизации управления нейрофизиологическим экспериментом и обработки данных в реальном времени описан в [19]. Изображение обработанных характеристик на экране осциллографа помогает экспериментатору следить за ходом эксперимента и оценивать получаемые результаты, что повышает эффективность проведения нейрофизиологического опыта.

§ 6. Средства представления результатов обработки

Здесь представляется целесообразным рассмотреть возможные виды представления и использования результатов обработки первичной информации, полученной в экспериментах (рис.6).

В настоящее время для выдачи информации из ЭЦВМ (в пригодном для непосредственного восприятия человеком виде) наибольшее распространение имеет вывод данных на алфавитно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ). Результатом работы АЦПУ являются таблицы алфавитно-цифровых знаков и колонки чисел. Эти устройства, чаще всего относящиеся к типу электромеханических устройств, работают сравнительно медленно и ненадежно. В научных исследованиях алфавитно-цифровой вывод результатов обработки в большинстве случаев неудобен из-за необходимости по-

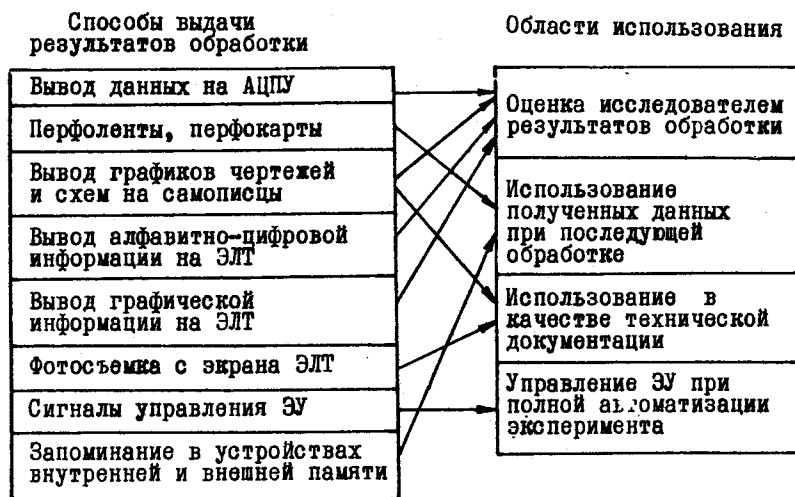


Рис.6. Представление результатов обработки.

следующего ручного построения по этим данным различных графиков. Попытки применения АЦПУ для вывода графиков малоэффективны, т.к. точность выводимых зависимостей получается очень малой.

Для вывода графической информации (графики, чертежи и схемы) используются различные самописцы, одно- и двухкоординатные. Самописцы непрерывного типа (например, ДРП-I) применимы только в тех случаях, когда не требуется большой точности вывода данных; для их использования совместно с ЭЦВМ обязательно нужно иметь согласующие цифро-аналоговые преобразователи. Для вывода графической информации из ЭЦВМ более пригодны шаговые графопроекторы, получившие широкое развитие в последние годы [23, 24].

Вывод информации на перфоленды и перфокарты осуществляется только в том случае, если полученные данные предполагается передавать в другие ЭЦВМ или использовать при последующей обработке, а хранить эту информацию в устройствах внутренней и внешней памяти ЭЦВМ нельзя (ограничен объем памяти, возможны сбои и потери информации при длительном хранении).

В последние годы за границей получили широкое распространение экранные пульта вывода алфавитно-цифровой и графической информации, снабженные устройствами ввода дополнительной информации [24, 25]. Появление таких устройств знаменует начало нового этапа в развитии оперативной связи между человеком и машиной - создание системы "человек-машина", позволяющей по-новому организовать работу ЭЦВМ в САНЭМ и увеличить эффективность применения САНЭМ.

Характерные черты системы "человек-машина" проявляются не только в замкнутой системе автоматизации управления процессом, но и при обработке экспериментальных данных в незамкнутой системе. Развитие графически ориентированной системы обмена информацией с ЭЦВМ позволяет значительно сократить затраты времени на вывод данных и получение результатов обработки в удобном виде. Вывод алфавитно-цифровой информации на экран ЭЛТ позволяет быстро отлаживать программы обработки и получать легко читаемую информацию о ходе эксперимента. Вывод графической информации на экран ЭЛТ позволяет механизировать процесс представления огромного объема данных для визуальной оценки оператором [20]. Оперативный ввод графической информации позволяет в любой момент вмешиваться в ход решения задачи и производить обмен информацией графическими образами, понятными как человеку, так и машине.

Путем фотографирования изображений с экрана ЭЛТ можно документировать результаты обработки, а быстрая смена изображений, формируемых ЭЦВМ, дает возможность получить кинофильм о движущимися изображениями. Таким образом, исследователь при выводе результатов обработки получает в свое распоряжение четвертое измерение - время. Некоторые результаты развития такой системы в Институте математики СО АН СССР изложены в [22].

З а к л ю ч е н и е

Опыт разработки высокопроизводительных систем показал актуальность постановки задачи автоматизации научных экспериментальных исследований вследствие необходимости переработки большого объема информации. В работе рассмотрены основные принципы построения такой системы автоматизации на базе использования универсальной ЭЦВМ. Показано, что отработка отдельных частей

системы для решения конкретных задач может быть выполнена на ЭЦВМ, имеющих в распоряжении исследователя, с постепенным наращиванием списка используемых устройств. Наш опыт показывает реальность и целесообразность такого пути, позволяющего сравнительно быстро получать результаты от внедрения автоматизации.

Устройства регистрации данных и программного управления экспериментом позволяют эффективно автоматизировать сбор и обработку экспериментальных данных без непосредственного доступа исследователя к ЭЦВМ.

Необходимость представления исследователю результатов обработки экспериментальных данных для оценки требует развития графически ориентированной системы обмена информацией между человеком и ЭЦВМ. Проведенная нами работа является лишь первым шагом в этом направлении.

Успех внедрения САНЭМ в практическую деятельность научных работников будет зависеть от того, насколько просто можно пользоваться этой системой. Для этого, кроме надежных технических средств, должен быть разработан простой язык программирования, доступный широкому кругу исследователей. С помощью такого языка исследователь может общаться с машиной в наиболее приемлемой для себя форме. Математическое обеспечение должно также содержать обширную библиотеку стандартных программ обработки данных и управления экспериментальной установкой.

Решению некоторых из поставленных задач посвящены статьи, публикуемые в данном сборнике.

Л и т е р а т у р а

1. Э.В. ЕВРЕЙНОВ, Ю.Г. КОСАРЕВ. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Наука, Новосибирск, 1966.
2. Э.В. ЕВРЕЙНОВ, Ю.Г. КОСАРЕВ. О вычислительных системах высокой производительности. Известия АН СССР, Техническая кибернетика, № 4, 1963.
3. И.С. ЛИСКЕР. Вариационные методы экспериментального исследования кинетических коэффициентов в полупроводниках. - Вычислительные системы, Новосибирск, 1968, вып. 29, стр. 3-88.
4. А.И. ТРУБЕЦКОЙ. Пути технической реализации построения вычислительной среды. - Вычислительные системы, Новосибирск, 1969, вып. 32, стр. 3-21.
5. Э.В. ЕВРЕЙНОВ, Ю.Г. КОСАРЕВ. О системах автоматизации научных экспериментов для разработки вычислительных систем. - Вычислительные системы, Новосибирск, 1963, вып. 8, стр. 3-10.

6. И.С. ЛИСКЕР. Использование электронной вычислительной машины для комплексного исследования характеристик полупроводниковых материалов и управления физическим экспериментом. - Вычислительные системы, Новосибирск, 1963, вып. 8, стр. 11-26.
7. В.М. ЕТИШКО. Автоматизация сложных физических экспериментов и промышленных испытаний с помощью цифровых вычислительных машин. - Кибернетика и вычислительная техника, Киев, 1964.
8. Кибернетизация научного эксперимента. Сборник работ проработанной лаборатории физики полупроводников ЛГУ им. П. Стучки. Рига, 1968.
9. W.F. MILLER. Computation and Control in Complex Experiments IBM Scien. Symp. on Man-Machine Commun., New York, 1965
10. R.A. EDWARDS. Automated Experiment Systems.
11. J.C.R. LICKLIDER. Man-Computer Relationship. - International Science and Technology, May, 1965.
12. А.И. ПЕТРЕНКО. Автоматический ввод графиков в электронные вычислительные машины. Изд-во "Энергия", М., 1968.
13. П.М. ЧЕГОЛИН, Г.К. АФАНАСЬЕВ. Автоматизация анализа экспериментальных графиков. Изд-во "Энергия", М., 1967.
14. В.А. ЛЬВОВ, В.Н. АРХИПОВ, Э.Л. ЕМЕЛЬЯНОВ, Ю.М. ФЕДОРУК. Устройство для регистрации экспериментальных данных на перфоленду. ГОСИИТ-ПИППО, № 19-67-1786/41, Москва, 1967.
15. М.Н. ИВАНОВ, В.К. КАДАШЕВИЧ, И.А. КОНДУРОВ, С.Н. НИКОЛАЕВ, А.П. НЕХАЙ, А.Г. НИКИФОРОВ, В.И. ПЕТРОВА. Централизованная система сбора и обработки информации (СОФИ) - Труды 4 конференции по ядерной электронике, Атомиздат, Москва, 1965, т. 3.
16. А.В. КОМАРОВ, Н.С. КОРМИЛИЦЫН, И.С. ЛИСКЕР. Установка для автоматизации экспериментальных исследований. - Данный сборник, стр. 81.
17. В.А. ЛЬВОВ, В.А. СТЕРЕЛЮХИН, Е.И. ЧЕРЕПОВ. Управление напылением пленок заданной толщины с помощью ЭЦВМ. - Данный сборник, стр. 122.
18. С.И. КОНЯЕВ, Н.Ф. СЫЧЕВ. Автоматизация исследования характеристик тонкопленочного переключающего элемента. Данный сборник, стр. 114.
19. В.А. АЛЕКСЕЕВ, Н.И. ГЛУШКОВ, В.А. ЛЬВОВ. Оперативная обработка нейрофизиологических данных с помощью универсальных ЭЦВМ. - Данный сборник, стр. 98.
20. В.А. ЛЬВОВ, Н.Ф. СЫЧЕВ. Вывод графической информации на экран ЭЛТ. - Данный сборник, стр. 133.
21. Л.А. КОЗЛОВ, В.А. ЛЬВОВ. Электроплатнеты для ввода графической информации в ЭЦВМ. - Данный сборник, стр. 126.
22. В.А. АЛЕКСЕЕВ, В.А. ЛЬВОВ. Организация связи с ЭЦВМ при автоматизации научных исследований. - Данный сборник, стр. 71.
23. Автоматический вывод геолого-геофизической графической информации из ЭЦВМ (методическое пособие). Ред. Э.Э. Фотиади, Новосибирск, 1968.
24. Устройства ввода и вывода графической информации в ЭЦВМ (Обзор зарубежного опыта). Госстрой СССР, ГИПРОТИС, Москва, 1967.
25. М.Д. ПРИНС. Графические методы связи человек-вычислительная машина при машинном проектировании. Труды ГИИЭ, русский перевод, т. 54, № 12, 1966, ВИНТИ, М., 1967.