

3-265

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

10- 3033



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

В.Н. Замрий

МЕТОДЫ ВЫВОДА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
И СВЯЗЬ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ МАШИНАМИ

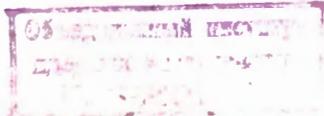
1966

10- 3033

4712/3 нр 4168/3 нр.

В.Н. Замрий

МЕТОДЫ ВЫВОДА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
И СВЯЗЬ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ МАШИНАМИ



Многоканальные измерительные системы ("многоканальные анализаторы" /I/), применяемые в экспериментальной ядерной физике при проведении спектрометрических и других исследований, позволяют в течение нескольких часов или минут получить информацию в виде многих тысяч чисел. В таких системах измеряемые величины подвергаются квантованию и кодированию. В соответствии с кодом в запоминающем устройстве выбирается адрес или "канал" и осуществляется "отсчет" - изменение содержащегося числа на 1. Число каналов достигает $10^3 - 10^4$ и более, в канале - до $10^4 - 10^5$ отсчетов. Результаты измерений подвергаются логической, а иногда и математической переработке, основная цель которой - получить на выходе системы (вывести из системы) данные в виде, удобном для дальнейшего использования: принятия определенного решения или дальнейшей обработки. Большой объем и сложность получаемой информации обусловили необходимость автоматизации вывода данных и все более широкое использование универсальных вычислительных машин.

Особенности построения и использования таких измерительных систем, а также некоторые ограничения вычислительных машин первых выпусков, привели к широкому применению методов вывода результатов измерений с записью на носителях, допускающих долговременное хранение, транспортировку и последующий ввод данных в машины. Развитие этих методов приобрело особую важность в связи с тем, что вывод данных и ввод их в машину оказался наиболее медленным, громоздким и наименее надежным звеном в общем комплексе получения и обработки экспериментальной информации.

Актуальность задачи автоматизации вывода и обработки экспериментальной информации отмечалась и ранее. Вместе с тем в литературе отсутствует систематизированное рассмотрение вопросов вывода экспериментальных данных и связи многоканальных измерительных систем с обрабатывающими машинами. В настоящей работе материалы по этим актуальным вопросам систематизированы и рассмотрены с определенных позиций с учетом специфики автоматизации физического эксперимента.

1. Методы представления и вывода данных из многоканальных измерительных систем

1. для экспериментальных задач в области ядерной физики характерно накопление достаточной для статистической оценки информации. Другой особенностью является поиск условий успешного проведения эксперимента. На настоящем этапе автоматизации эксперимента ещё необходимо непосредственное участие оператора с его способностью оценивать информацию, получаемую в процессе эксперимента.

Для сложных измерительно-информационных систем ядерной физики, в управлении которыми участвует оператор, присущие этим системам высокие характеристики (скорость получения данных, точность и т.п.) могут быть в значительной мере потеряны, если применено выходное устройство, недостаточно учитывающее особенности и возможности человека (особенности и скорость восприятия, время реакции, объем "оперативной памяти" человека, возможность ошибок субъективного характера). Используемые методы представления результатов измерения должны соответствовать и той роли, которая отводится оператору в общем экспериментальном комплексе: наблюдение за ходом эксперимента, считывание и запись результатов, оценка или оперативная обработка получаемых данных, изменение параметров или программы измерений, управление экспериментом на основе полученных в ходе эксперимента данных и т.д.

Работы в области инженерной психологии подтверждают, что реакция оператора при более простом алфавите вырабатывается быстрее и с меньшей ошибкой. Подавляющую часть информации оператор получает визуально: в виде знаков или графических

изображений. Для визуального восприятия изменяющихся данных применяется наиболее простой из возможных алфавитов: цифры и фигуры или цветовые сигналы /2/.

При простом алфавите, свойственном цифрам, данные в виде цифрового текста (цифроречать, показания цифрового индикатора) представлены оператору в наиболее конкретной и точной форме и вызывают меньше ошибок при считывании. Простейшие методы представления цифровой информации используют единичную систему счисления. Находит применение позиционная символика (двоичная, десятичная, двоично-десятичная и т.д.). Наиболее удобно для восприятия оператора представление результатов в общепринятой позиционной десятичной системе счисления. Из-за особенностей восприятия человека представление экспериментальной информации в виде множества цифр или знаков, подробно и точно отражающих все изменения, затрудняет быструю оценку общей картины или тенденции изменений измеряемых величин. В таких случаях применяют иные методы представления.

Графическое представление результатов измерения (например, гистограмма спектра распределения по одному или нескольким параметрам /I/) отличается значительно большей наглядностью и позволяет быстро оценить качественную сторону результатов. Положительные свойства графического представления теряют свое значение при значительных потоках информации, когда требующаяся площадь для размещения и время наблюдения (восприятия) чрезмерно увеличиваются. Трудности точного считывания и обработки графической информации определили широкое применение представления экспериментальных данных в знаковой и кодовой формах.

Необходимость в последней форме представления связана с применением машинной (автоматической) обработки.

В работе /3/ обсуждается понятие индикации. Постоянной индикацией называется зарегистрированная в виде документальной записи (на бумаге, киноплёнке и т.п.) информация, а переменной – временная индикация (в течение непродолжительного времени, например, нескольких минут). Для визуального съёма данных характерна переменная индикация. Постоянная индикация необходима при выводе больших объёмов информации с целью дальнейшего использования (обработки). Данные регистрируются на каком-либо носителе в форме, пригодной для длительного хранения и последующего восприятия – визуального или автоматического. При дальнейшем изложении термин "индикация" будет использован лишь в смысле второго определения, а термин "регистрация" – в смысле первого определения. В соответствии с этим индикатором называется устройство для временной индикации, а регистратором (регистрирующим устройством) – устройство для документальной записи информации, в знаковой, графической или кодовой формах. Устройства с невидимой (неудобной для визуального считывания) записью могут быть отнесены к запоминающим устройствам (накопителям).

2. Методика проведения физического эксперимента часто основывается на использовании визуальной индикации данных, накапливаемых в процессе измерений. Поэтому в состав многоканальных измерительных систем включают разнообразные устройства индикации. Для этих целей применяют световые табло (из простейших двухпозиционных устройств с лампами индикации),

чаще всего построенные с использованием позиционной символики или единичной системы счисления. Из всего многообразия известных устройств цифровой индикации /4/ наиболее удобны устройства, в которых заготовленное изображение десятичной цифры индицируется с поступлением электрического сигнала на определенный вход (например, индикаторы тлеющего разряда ИИ-1 /5/). Большими возможностями обладают электронно-лучевые трубки с маской (матрицей) для изображаемых знаков. Такие трубки (типа "характрон") позволяют выводить информацию в виде алфавитно-цифровых текстов, страницами /6/, например, по 128 x 128 знаков на экране с диаметром 18 см. Известно несколько разновидностей таких трубок /6-9/. Существенно проще знаковосинтезирующие цифровые индикаторы (мозаичные табло, электролюминесцентные индикаторы полоскового типа /10/ и т.д.), для которых кодовые сигналы преобразуются в изображение знаков при помощи логических схем. Известны примеры использования индикаторов пишущего типа (например, электронно-лучевых трубок), в которых используется управляемое перемещение луча, светового пятна на экране. Для формирования изображения знака на экране применяют специальные схемы, например, /11,12/. Из-за относительной сложности последние устройства не нашли широкого применения в специализированных измерительных системах, однако, получают применение в системах с вычислительными машинами и информационных системах /13/.

Устройства индикации данных в графической форме стали практически неотъемлемой частью многоканальных измерительных систем. Получаемые на экране электронно-лучевой трубки изображения спектра (линейное, точно-растровое, изометрическое или

многомерное) позволяет представить в наглядной форме оперативную информацию о ходе и результатах измерений. Методы графической индикации продолжают развиваться (изображение цветное, стереоскопическое и т.д.) /I4,I5,I6/. Значение этих методов возрастает с усложнением экспериментальной информации и открывающимися возможностями применения вычислительных машин для оперативной обработки и представления результатов (см.ниже).

Одно из основных ограничений ряда первых многоканальных анализаторов было связано с отсутствием автоматических устройств для вывода и регистрации результатов измерения. Данные поканально выводились оператором и списывались с индикаторов. Это приводило к менее эффективному использованию оборудования из-за низкой производительности ручного вывода (многие секунды на I канал) и присущих оператору субъективных ошибок. Именно поэтому первые промышленные I00-канальные анализаторы, не имеющие устройств для документальной записи результатов, впоследствии были дооборудованы такими устройствами /I7,I8/. В составе современных анализаторов с числом каналов порядка $10^2 - 10^3$, как правило, предусмотрено оборудование для автоматического вывода и регистрации данных. Наличие автоматической регистрации (знаковой, графической или кодовой) результатов измерений дает основание отнести эти многоканальные анализаторы к классу регистрирующих автоматических измерительных приборов.

Применяемые методы представления данных непосредственно связаны с методикой и имеющимися техническими средствами обработки (ручная обработка, специализированные вычислительные устройства, вычислительные машины). В ходе эксперимента нередко

неоходимы различные методы представления данных в форме, пригодной для предварительной обработки, или оценки (графики, цифровые данные и т.п.), или для последующей полной обработки (цифровая печать, перфорирующее, магнитная запись и т.п.). Это требует применения целого комплекса различных выводных устройств.

Результаты измерений выводятся во время продолжающегося многие часы или сутки физического эксперимента (в паузах между относительно непродолжительными замерах), а обрабатываются в ходе или после окончания эксперимента. Отсюда вытекают специфические требования к надежности и скорости регистрации результатов измерений.^{ж)} Например, можно считать, что скорость вывода удовлетворительна, если время, затрачиваемое на вывод, не превышает 5-10% времени измерений. Тогда при временах каждого замера 30-60 мин скорость вывода, в зависимости от числа каналов анализатора 100 или 4000, соответственно, не должна быть меньше 30 и 1200 каналов за минуту.

ж)

В узкоспециализированных измерительных системах не находят применения используемые в вычислительных машинах методы, такие, как быстрый перебор информации во внешний накопитель для последующего более медленного вывода, организация параллельной работы нескольких выводных устройств с одним запоминающим устройством, методы разделения времени и т.д., которые позволяют в известной мере компенсировать недостаточно высокое быстродействие выводных устройств. Поэтому нередко возникающая диспропорция в скорости работы электронных измерительно-обрабатывающих и выводных (регистрирующих) устройств непосредственно приводит к замедлению всего измерительно-информационного комплекса физического эксперимента.

3. Методы знаковой регистрации, используемые в автоматических печатающих устройствах, позволяют зафиксировать документально информацию в удобной для оператора форме знакового или цифрового текста. Печатающие устройства характеризуются, прежде всего, скоростью печатания — количеством знаков или знаковых строк, которые могут быть отпечатаны за единицу времени, например, за I минуту; шириной (форматом) печати — количеством позиций или знаков, печатаемых в строке (или на странице); количеством применяемых при печати знаков (цифры, буквы, символы) /19, 20, 21/.

В наиболее медленно действующих механических печатающих устройствах с последовательным выбором печатаемого знака каждой позиции процесс печати в принципе состоит из тех же операций, что и в пишущей машинке. Электроуправляемые пишущие машинки /22/ обеспечивают автоматическое печатание со скоростью до 400–600 знаков в минуту. Примерно такими же характеристиками обладают телеграфные аппараты (телетайпы), конструкция которых однако сложнее /23/. В печатающих устройствах штангового типа при наборе знаков перемещаются штанги с литерами, а печатание всех знаков строки происходит одновременно. Такие устройства при ширине печати до 12 знаков обеспечивают печатание со скоростью до 400 строк/мин (4800 знаков/мин) /21/. Эти устройства ранее широко применялись в машинах-табуляторах.

Для автоматизации вывода результатов измерения из многоканальных анализаторов нашли применение, прежде всего, наиболее доступные и освоенные промышленностью устройства с последовательным выбором и печатанием знаков: телетайпы, например, типа РТА и СТА /24, 25, 26/, электрофицированные пишущие машинки, например, ЭУМ-23 /17, 27/, суммирующие Ю-кла-

вишные машинки, например, СДМ-107 /28/, а также многоштанговые машины, например, СДУ-138 /29/, обеспечившие скорость вывода 30-60 каналов в минуту.

В анализаторах с числом каналов порядка 1000 в ряде случаев предусмотрен вывод данных на более быстродействующие построчно печатающие устройства, например, /30,31,32,33/. Увеличение скорости печатания в последних устройствах достигается прежде всего за счет увеличения числа регистрирующих органов, расположенных вдоль печатаемой строки. Такие устройства выполняются с регистрирующими органами в виде колес с выпуклыми литерами или в виде непрерывно вращающегося барабана с литерами (устройства барабанного типа), в виде гибкого кольца с литерами, непрерывно перемещающегося вдоль строки (устройства цепочного типа), в виде катящегося по внутренней поверхности втулки валика, причем литерные строки размещены на внешней поверхности вращающегося валика или на внутренней поверхности неподвижной втулки. В быстродействующих устройствах удар печатающего молоточка осуществляется через бумажную и красящую ленты по движущейся литере (печать "на ленту"). Печатающий механизм такого типа отличается своей простотой, однако требует хорошей синхронизации печати. Скорость работы достигает 600-1200 строк/мин, а в отдельных случаях - до 2000-3000 строк/мин /34,35,36,37,38/. Промышленностью освоены устройства барабанного типа для печати цифр на узкой бумажной ленте с числом знаков в строке 10-20 и скоростью до 1200 строк/мин (например, типа БПМ-20, ТБПМ-16/1200). Более высокопроизводительны широкоформатные печатающие устройства, обеспечивающие одновременное печатание до 120-160 знаков в строке (алфавитно-цифрового

текста). Производительность таких устройств (типа АЦПУ I28-2) достигает 10^5 знаков/мин. /20,36,37/. Размещение в одной строке нескольких чисел (например, как это выполнено в устройстве /39/ позволяет соответственно повысить скорость вывода данных. Однако широкого распространения последние устройства пока не нашли (большая стоимость и громоздкость).

Одной из причин, ограничивающих скорость работы механических знакопечатающих устройств, является выбор постоянно закрепленных литер. Это ограничение снимается в знаковосинтезирующих устройствах, в которых изображение знака формируется из отдельных печатаемых точек. Для печати знаков используют как одноточечный, так и многоточечный методы. Изображение знака (до 5 x 7 точек) формируется в первом случае при помощи непрерывно колеблющейся иглы (скорость работы 300 строк/мин /38/), а во втором - при помощи соответствующего набора игл, или матрицы. В устройствах параллельной печати устанавливают до I20 таких матриц /I9/

Печатающие устройства механического типа усовершенствованы в такой мере, что значительного увеличения скорости печати не ожидается /20/. Это определяется как характеристиками удара, так и качеством печати, особенно при необходимости печатать одновременно несколько копий. Значительное увеличение скорости печати связано с применением немеханических устройств (неударного типа), в которых применяется минимальное количество движущихся механических частей.

Группу немеханических печатающих устройств составляют устройства, использующие фотографический, электрографический, электротермический, электрохимический, электроискровой и другие методы регистрации.

К наиболее быстродействующим устройствам немеханического типа относятся воспроизводящие устройства, использующие фотографический и другие методы записи с экрана индикаторных устройств, формирующих изображение знаков. Известные устройства с электронно-лучевыми трубками и кинокамерой могут обеспечить скорость регистрации $10^5 - 10^6$ знаков/мин. Так, в одной из систем /13/ алфавитно-цифровая информация в виде страниц текста регистрируется на киноплёнке со скоростью $3 \cdot 10^4$ строк/мин. При ширине записи 128 знаков скорость вывода более 10^6 знаков/мин. Разработаны аналогичные отечественные устройства со скоростью регистрации более 10^5 знаков/мин. Недостатком метода является то, что результаты записи готовы к использованию после окончания обработки фотоматериалов (минуты или часы). Длительность обработки и большая стоимость обычных фотоматериалов вызвали разработку новых методов быстрой записи изображений.

В настоящее время показана возможность практического использования метода электрофотографии для регистрации изображений с экрана электронно-лучевой трубки /40,41/. При электрофотографическом способе записи равномерный электрический заряд наносят на всю поверхность фотополупроводникового слоя. Потенциальный рельеф (скрытое изображение) образуется в результате экспонирования. Для проявления применяется сухой, или ксерографический, метод (порошок из смеси частиц - носителей заряда и красителя) либо жидкий метод (суспензированный краситель). Применяют два способа регистрации: 1) на промежуточном носителе - фотополупроводниковом слое получают порошковое изображение, которое затем переносят на обычную бумагу и закрепляют, например, нагревом; 2) порошковое изображение

получают непосредственно на специальной бумаге, покрытой фотополупроводниковым слоем. При полной автоматизации процесса регистрации время между экспонированием и получением отпечатка составляет несколько секунд. В автоматическом устройстве /42/ знаки с экрана знакоформирующей трубки типа "характрон" проецируются на поверхность фотополупроводникового слоя, нанесенного на металлический барабан, вокруг которого расположены все узлы, необходимые для получения изображений. Устройство выводит результаты из вычислительной машины со скоростью 5000 строк/мин при ширине строки 128 знаков. Увеличение скорости достигнуто при использовании электронно-лучевых трубок с тонким окном и контактной печати на электрофотографической бумаге /43/.

При электростатическом способе записи потенциальный рельеф образуется в результате нанесения электрических зарядов на бумагу, покрытую изоляционным слоем, например, полистиролом. Для осаждения зарядов используют систему электродов или специальную электронно-лучевую трубку, в экран которой запрессована система проволочек, параллельных оси трубки /44/. Результаты испытания одного из наиболее скоростных устройств показали скорость около 10^4 строк/мин при ширине печати до 120 знаков. Запись на специальной бумаге осуществлялась при помощи 600 электродов /46/. Методы электрографии позволяют получить относительно высокое качество печати.

Один из перспективных методов - метод феррографии (магнитографии) /45/. Для формирования скрытого изображения на магнитном носителе

ле, например, на магнитной ленте, используется набор магнитных головок. Видимое изображение образуется в результате действия пондермоторных сил магнитного поля на ферромагнитные частицы. Технологические процессы (проявление, перенос, закрепление) и узлы для реализации этих процессов имеют много общего с процессами и узлами, применяемыми при электростатическом способе записи. В опытном образце устройства получена скорость $6 \cdot 10^3$ строк/мин, однако, ожидается десятикратное увеличение скорости.

Относительно давно известны такие методы регистрации, как электрохимический (запись осуществляется на пропитанную электролитом бумагу при помощи металлических электродов, на которые подаются импульсы тока), электротермический (запись на электротермической бумаге осуществляется при помощи электродов из вольфрамовой или платиновой проволоки), электроискровой (для записи используется явление электрической искры, возникающей между электродами через слой бумаги), которые позволяют увеличить скорость вывода по сравнению с устройствами механического типа примерно на порядок /20,47/. В ряде случаев существенным ограничением является относительно невысокая контрастность печатаемых знаков, высокая стоимость бумаги, стоимость, сложность эксплуатации. Неудобством электрохимического метода является необходимость сохранения бумаги во влажном состоянии.

Устройства, использующие последние четыре метода, а также электростатический способ записи, могут быть отнесены к группе знаковосинтезирующих устройств. Некоторые из таких устройств менее сложны, чем воспроизводящие устройства, и несомненно представляют практический интерес. 16

В настоящее время устройства немеханического типа находятся в стадии совершенствования или опытных образцов. Развитие этого направления в течение последних пяти лет привело к созданию образцов, способных регистрировать данные со скоростью $10^3 - 10^4$ строк/мин и более. Однако эти устройства относительно дороги. Улучшение технологии химического и физического процессов печати, применение усовершенствованных типов бумаги будут способствовать распространению новых методов регистрации.

4. Графическая регистрация данных нередко применяется при оперативной оценке или ручной обработке получаемых спектров (вычисление площадей пиков и т.п.), а в ряде случаев служит конечной формой представления результатов измерений. Ручное построение графиков, состоящих из $10^2 - 10^3$ точек, по выведенным числовым данным—крайне непроизводительный труд (занимает многие часы). Развитие методов графической регистрации до последнего времени сдерживалось отсутствием достаточно быстродействующих автоматических регистрирующих устройств (механизмов).

Для графической регистрации используют нанесение слоя вещества (запись чернилами, печатание и т.д.) или снятие слоя (запись на бумаге, покрытой воском, сажей и т.п.), а также ряд методов записи, применяемых в устройствах знаковой регистрации немеханического типа. Устройства графической регистрации характеризуются прежде всего наглядностью или удобством представления данных, скоростью (или частотным диапазоном) и точностью или погрешностью регистрации.

В настоящее время наиболее распространены устройства электромеханического типа — самопишущие приборы со следящими системами /47,48/. В таких устройствах выходные величины

представлены перемещением регистрирующего органа (пера) по отношению к шкале или масштабной сетке — в аналоговой или непрерывной по значению форме. Такие устройства обеспечивают точность регистрации не лучше 0,1 — 1,0%. Выводимые из измерительной системы данные должны быть преобразованы из кодированной, числовой формы в соответствующее (пропорциональное, логарифмическое) значение напряжения или тока. Из-за погрешностей аналогового преобразования данных и отсчета показаний по непрерывной шкале трудно уменьшить погрешность ниже 0,2%. Однако статистическая ошибка получаемой экспериментальной информации в ряде случаев имеет такое же значение или даже превышает его. Основным ограничением подобных регистрирующих приборов является крайне низкое быстродействие (диапазон менее 1 гц). Применение подобных устройств (типа ЭПН-09) для вывода результатов измерений обеспечивает невысокую скорость регистрации — 30–60 канал/мин /30,31/. К этому классу устройств относятся и двухкоординатные регистрирующие приборы, позволяющие регистрировать функциональную зависимость не только типа $Y = f(T)$, но и $Y = f(X)$, где переменные Y и X функции времени T . Последние устройства удобны для регистрации сложных функциональных зависимостей, например, многомерных спектров. Известно несколько разновидностей промышленных устройств такого типа (ДРН, ПДС — 021 и т.д.), имеющих, однако, такой же небольшой частотный диапазон /49/. В настоящее время промышленностью осваиваются аналогичные устройства с более высоким быстродействием (диапазон частот до 20 гц и более), с многодорожечной, многоцветной записью и т.д.

Значительно более высокую скорость регистрации обеспечивают устройства, воспроизводящие графическое изображение, формируемое в магнитоэлектрических и электронных осциллографах. Используется запись на фотоматериалы, дневную бумагу (чувствительную к ультрафиолетовым лучам) и полупроводниковую (электрофотографическую) бумагу. Системы регистрации такого типа в ряде случаев позволяют регистрировать как знаковую, так и графическую информацию /13/.

Широкое использование устройств индикации (на электронно-лучевых трубках) в многоканальных измерительных системах способствовало применению методов фоторегистрации (например, "мерцающая камера" Чейза /50/). Следует отметить, что не только значительное время обработки фотоматериалов, но и присущая им усадка при мокром проявлении (до 3-4% для фотобумаги) ограничивают возможности метода.

Разрабатываемые в последнее время устройства для регистрации графической информации в дискретной форме (в виде ограниченного числа дискретных значений или точек) позволяют сохранить преимущества применяемого в измерительных системах дискретного метода (точность и однозначность).

Представляют интерес устройства, в которых для дискретного перемещения регистрирующего пера применяют шаговые двигатели /51/. В устройстве барабанного типа (типа *Calcomp 765*) скорость вычерчивания прямых отрезков, или шагов, более 10^3 шагов/сек. Величина шага 0,25 или 0,1 мм при ширине бумажной ленты 300 мм. Такие устройства могут быть применены и для вычерчивания различных знаков.

Для построения графиков по точкам возможно применение широкоформатных знакопечатающих устройств (число дискретных значений определяется числом печатающих молоточков, около 100) как механической, так и немеханической группы. Скорость построения графика равна скорости печати строк (см. выше). Такие устройства позволяют графический материал сопровождать алфавитно-цифровым текстом, а для построения сложных графиков использовать множество различных символов. Для построения графиков по точкам удобно применить широкоформатные знакосинтезирующие печатающие устройства. В таких устройствах для формирования знака используется до 5 x 7 точек, поэтому при заданной скорости и ширине печати знаков скорость построения графика по точкам и число размещаемых точек (плотность размещения точек) могут быть существенно больше. Последние устройства применяются пока лишь совместно с некоторыми вычислительными машинами.

Особый интерес представляют устройства, работающие по принципу знакопечатающих устройств барабанного типа, но со значительно меньшим числом регистрирующих органов, например, /52/. Такое устройство может быть выполнено и с одним регистрирующим органом — в виде одной печатающей планки (на всю ширину графика) и выступов, расположенных на барабане по винтовой линии. В более быстродействующем варианте такого устройства /53/ применен пространственно-временной выбор каждой из 100 печатаемых точек. За время одного оборота барабана срабатывает один из 10 молоточков, который ударяет по одному из 10 выступов, расположенных по соответствующей спирали. Скорость построения графика 1800 точек/мин.

На дополнительных дорожках отмечается значение старших разрядов выведенного числа, и дискретность считывания может быть сохранена в пределах до 5 десятичных разрядов. Такое устройство было применено для вывода данных из многоканальных анализаторов /54/.

Следует заметить, что при использовании немеханических методов для графической регистрации весьма существенны возможности и удобство обращения с используемыми носителями информации. Так, при ручной обработке графических изображений на киноплёнке или фотобумаге нанесение отметок или поправок затруднительно. У носителей, подвергаемых мокрому проявлению, у электрохимической бумаги после высыхания могут происходить значительные усадки (до 4%), деформации, которые могут затруднить (например, при измерении площадей на графике) или ограничить применение этих методов.

5. Методы регистрации данных в кодовой форме применяют при выводе больших потоков экспериментальной информации, подлежащей машинной обработке. При машинной обработке "классическими" методами выведенная из измерительной системы информация должна быть подготовлена и записана на определенном (транспортабельном) носителе в определенной форме, удобной для ввода этой информации в машину. Известно несколько основных методов ввода данных в вычислительную машину: при помощи клавишных пультов, перфокарт, перфоленты и магнитной ленты, а также ряд других методов: оптической разверткой изображения, чтением записи "магнитными чернилами", при помощи звуко-различающих устройств. Для ввода больших объемов информации чаще всего используются второй и третий методы и реже четвертый метод. применение методов кодовой регистрации

экспериментальной информации определяется имеющимися возможностями ввода в машину.

Известны устройства для автоматического чтения алфавитно-цифровых текстов, отпечатанных на различных печатных машинах. Например, устройство, использующее метод оптической развертки, обеспечивает чтение текстов с документа (210 x 330мм) со скоростью 300 знаков/сек /55/. Подавляющее большинство вычислительных машин такими читающими устройствами пока не располагает. Перфоленты (и ранее широко используемые в телеграфии) и перфокарты (широко используемые в счетно-аналитических машинах) до настоящего времени остаются основным средством ввода данных в машину /56/. Данные, записанные на перфокартах (на перфокарте можно записать до 960 бит, но практически количество записываемых данных меньше, так как на каждой карте требуется указывать ряд служебных отметок и характеристик информации), при вводе в машину считываются со скоростью 100 - 300, а иногда 1000 перфокарт в минуту ($10^5 - 10^6$ бит/мин). Данные, записываемые на перфоленте построчно (на ленте обычно до 5-8 дорожек), считываются со скоростью 200-300, а иногда 1000 строк/сек (до $5 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^5$ бит/мин) /56,37/.

Данные, записанные в виде цифровых текстов, при подготовке к вводу обычно переводят на перфоленты или перфокарты. Однако скорость ручного перевода данных крайне неудовлетворительна (многие секунды на перезапись одного числа). При этом неизбежны большие дополнительные затраты времени на перепроверки и исправления. В настоящее время получили распространение выводные устройства с автоматическим перфорированием,

позволяющие исключить ручную подготовку результатов измерений. В качестве автоматических перфорирующих устройств чаще всего применяются телеграфные аппараты (типа СТА), обеспечивающие вывод на бумажную перфоленту (наряду с печатанием) со скоростью около 60 каналов/мин /23,26/ и более быстродействующие перфораторы (типа ПЛ со скоростью перфорирования 20 строк/сек и более /22/), обеспечивающие скорость вывода более 200 - 300 каналов/мин /17,57/. Разработаны перфорирующие устройства со скоростью до 150 строк/сек /58/. Производительность лучших перфораторов 10^4 - 10^5 бит/мин. В ряде измерительных систем применяются карточные перфораторы /16,59/, обеспечивающие скорость перфорирования около 100 карт в минуту (иногда до 300 карт/мин /37/). Например, из 256-канального анализатора данные выводятся на 22 перфокарты за 12 сек /59/.

Методы перфорирования на бумажной ленте или картах по своей скорости примерно равноценны, и предпочтение одному из них отдается в результате не только сравнения скоростей. Перфокарты удобнее тем, что их можно комплектовать в различных комбинациях, при этом проще исправления отдельных ошибок и другие манипуляции. Перфоленты обеспечивают запись с большей плотностью (примерно в 2 раза) и более удобны для транспортировки и хранения. Запись на перфоленте может иметь желаемую длину, поэтому в ряде случаев готовится быстрее. Наконец, перфолента дешевле перфокарт, а аппаратура для неё занимает много меньше места и содержит значительно меньше электромеханического оборудования. Однако записываемые на перфоленту данные должны быть рассортированы (размещены) перед записью, либо после записи.

Помимо перфорационных носителей, для аналогичных целей все чаще находит применение магнитная лента, которая позволяет разместить записываемую информацию со значительно большей плотностью и увеличить скорость вывода (и ввода в машину) на 1-2 порядка. Последний метод заслуживает особого внимания и в связи с тем, что позволяет упростить тракт "вывод - ввод". Данные, записанные на других носителях, в машине приходится переписывать на магнитную ленту перед началом вычислений. Многоступенчатость и громоздкость такого тракта (измерительная система - перфолента - магнитная лента - вычислитель) чрезвычайно увеличивают вероятность искажения (потери) информации и замедляют её передачу для обработки. Метод вывода на магнитную ленту наиболее эффективен, когда удастся совместить записи, произведенные на периферийном накопителе (в измерительной системе), с вводным устройством - накопителем машины (однако, это накладывает весьма серьезные условия на допустимые отклонения в размещении записи, перекосы, смещения и т.д. /60/). Тогда магнитная лента с записью экспериментальной информации может быть перенесена и установлена непосредственно в накопитель обрабатывающей машины. Этот метод применяется в ряде зарубежных физических лабораторий, например, /61/. Применение более простых выводных устройств с записью на узкую магнитную ленту (не машинным кадром) /32/ не исключает перезаписи данных при вводе в машину.

При регистрации данных в кодовой форме затруднено визуальное чтение. Это представляет определенное неудобство, так как может возникнуть необходимость ознакомиться с содержанием материала в процессе его вывода или подготовки к вводу

в машину. В настоящее время с такой целью применяют вывод с дублированием записи данных, представляемых в кодовой и знаковой или графической формах. Например, в ряде устройств перфорирование сопровождается печатанием /25/. Представляют интерес системы записи данных, одновременно удовлетворяющие условиям автоматического и визуального чтения. Так, в системе /62/ тексты, записываемые магнитными чернилами в виде знаков нормального начертания, могут быть прочтены визуально или автоматически. Скорость автоматического считывания 1200 знаков/мин.

11. СВЯЗЬ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И МАШИН ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

I. При обработке экспериментальных данных на вычислительной машине методами, предусматривающими этапы вывода данных из измерительных систем на промежуточный носитель, доставки этого носителя к машине и последующего ввода в машину, не исключены значительные задержки (часы, дни). Задержка в получении результатов обработки в одних случаях нежелательна (когда эксперимент нельзя считать полностью законченным до получения исчерпывающей информации), в других случаях приводит к ряду методических затруднений (когда определенный результат одного из этапов эксперимента или измерений является условием перехода к одному из последующих этапов, повторение измерений связано со значительными трудностями и т.д.). Уменьшить эту задержку и еще более сложная проблема — получать и использовать результаты обработки в процессе эксперимента — очередные задачи автоматизации физического эксперимента.

В течение последних нескольких лет получили признание и получают распространение методы связи многоканальных измерительных систем (как специализированных измерительных систем, так и систем, построенных на базе малых вычислительных машин широкого назначения) с обрабатывающими вычислительными машинами (универсальными высокопроизводительными машинами), основанные на передаче данных по каналам связи. Тенденции создания единых измерительно-обрабатывающих комплексов, состоящих из измерительной аппаратуры и универсальных вычислительных машин (или их комплексов), обусловленные потребностями развивающейся методики физического эксперимента (дальнейшее усложнение информации, логики отбора, обработки и интерпретации результатов), стали возможны с развитием вычислительных машин (возможности машин последнего пятилетия существенно расширились). Особенностью такого использования машин в измерительно-обрабатывающем комплексе является совместная (сопряженная) работа машины с измерительными и другими экспериментальными системами, обмен информацией по каналам связи и обработка результатов в ходе эксперимента. Возможности вычислительных машин второго поколения позволяют использовать их практически одновременно для сбора, накопления, обработки и представления результатов в наиболее удобной форме. При осуществлении функциональной связи машины с отдельным измерительным устройством (измерительная система на базе вычислительной машины — "система с запоминаемой программой работы" /63-65/) появляется возможность в процессе измерений проводить более сложный отбор и оперативную обработку измеряемых величин и тем самым уменьшить объем накапливаемых данных, требующих последующей машинной обработки. Далее рассматриваются, прежде всего, особенности связи обрабатывающих

машин и специализированных многоканальных измерительных систем (систем с фиксированной программой работы), которые способны с относительно большой скоростью накапливать и выдавать большие объемы данных, подлежащих машинной обработке.

Большой поток экспериментальных данных определяет требование достаточно высокой эффективности передачи по каналу связи, быстродействия и помехоустойчивости всего тракта. Скорость трансляции данных, выводимых из измерительной системы, должна быть согласована, во-первых, с пропускной способностью канала связи и, во-вторых, с возможностью обрабатывающей машины принимать поступающую информацию. Методы связи с вычислительными машинами можно объединить в две группы: 1) методы передачи с промежуточной регистрацией, с накоплением данных на промежуточном носителе и 2) методы непосредственной (прямой) связи с машиной. Более известны первые методы.

2. Для систем с перезаписью транслируемых данных характерно использование каналов с относительно невысокой пропускной способностью, телеграфных и телефонных сетей.

Первые этапы развития связи с высокопроизводительными машинами, удаленными на значительное расстояние, иллюстрирует характерный пример /66/. С 1959 года передача данных осуществлялась по телеграфной линии, на обоих концах которой применялась 5-дорожечная перфолента. Скорость передачи 5 знак/сек. В 1960-1962 г.г. данные передавались по телеграфному каналу, снабженному оборудованием для обработки перфокарт типа IBM, со скоростью 10 карт/мин. В 1962 г. связь начала осуществляться по линии, на концах которой установлено оборудование для записи и воспроизведения магнитных лент, со скоростью

150 знак/сек. На приемном конце магнитная лента вводилась в машину IBM I40I, и данные переписывались с большей плотностью для машины 7030. Результаты из последней, в свою очередь, поступали в машину I40I, где переписывались с меньшей плотностью для передачи. На другом конце линии записанные данные также вводились в машину I40I, с помощью которой печатались. Каждые сутки время связи составляло I-I,5 часа. Отмечаются две основные трудности такой (все еще громоздкой) связи с машиной: для передачи данных по каналу связи с указанной скоростью потребовалось ввести корректирующие устройства; из-за отказов не выдерживался график работы на линии.

Информация, передаваемая в рассматриваемых системах связи, имеет двоичную форму: сообщения состоят из последовательных сигналов, соответствующих цифрам "0" и "1". Двоичная информация, если не предусмотрены специальные меры, не обладает избыточностью, присущей речевым сообщениям (до 70%). В то время как для телеграфии отличная работа характеризуется вероятностью неправильного приема отдельных символов порядка 10^{-5} , при передаче данных возникают требования передачи с вероятностью ошибок 10^{-9} и менее /67/. По результатам испытаний /68/ при передаче данных по телеграфным сетям (использовался второй международный код) вероятность ошибки в знаке 10^{-5} или больше. Система связи с машиной "Минск" по каналам абонентского телеграфа описана в работе /69/. Скорость телеграфирования 50 бод при использовании обычного телеграфного оборудования с перфолентой. Скорость передачи, применяемая в телеграфии, не удовлетворяет требованиям эффективного использования вычислительных машин в системах, предполагающих ввод (вывод) больших объемов информации за короткие промежутки времени.

Потребность в передаче данных возникла, когда уже существовали развитые телефонные сети, и проблему более эффективной передачи можно было бы наиболее быстро решить, используя существующие линии. Однако последние создавались в соответствии с требованиями передачи непрерывных сигналов, и для эффективной передачи данных оказалось необходимым существенно уменьшить допустимый уровень импульсных помех, фазовых и других видов искажений или найти методы устранения воздействия таких искажений. В настоящее время описан ряд систем передачи двоичной информации по телефонным каналам связи, например, /70/, в книге /67/. Для таких систем, использующих различные методы модуляции, эффективность передачи существенно меньше теоретического предела /71/. Показано теоретически, что по каналу с полосой В можно передать не более $2В$ дискретных значений сигнала за T сек /72/. При двоичном кодировании каждое дискретное значение содержит 1 бит информации, и скорость передачи при двоичных сигналах составляет до $2В$ бит/сек. Для обычных телефонных линий связи с полосой 3000 гц практический предел скорости передачи как правило не выше $2500-3500$ бит/сек. Реализация такой скорости требует тщательной компенсации искажений в канале /73/.

Приведенные в литературе материалы показывают, что использование телефонных сетей для передачи данных сопряжено с возможностью внесения существенных искажений. Так, испытания /74/ показали, что 70% регулярных вызовов будут иметь интенсивность ошибок менее, чем одна на $7 \cdot 10^4$ бит (при скорости передачи 1200 бит/сек). Такая интенсивность ошибок значительно больше обычного уровня, наблюдаемого в вычислительной машине с

нитной лентой. (Однако это может быть удовлетворительным применением методов обнаружения и коррекции ошибок: методы строгого контроля четности в системах со скоростью порядка 10 к/сек и методы более строгого контроля при более высоких скоростях — контроль четности чередующихся разрядов, перекрестный контроль четности, коды с обнаружением и исправлением ошибок и т.п., которые получили распространение в подобных системах связи /75/). Характерные результаты испытаний приведены в работе /76/. Данные, накапливаемые на перфоленте, передавались во втором международном телеграфном коде со скоростью 100 знаков (при скорости фазовой модуляции 1200 бод). Группы по 80–100 знаков передавались с контролем методом "контрольных групп". Испытания передачи по линиям промышленного предприятия показали, что отношение количества искаженных групп к общему количеству переданных достигает 1% (вероятность ошибки в знаке 10^{-4}). Чем больше искажений возникает при передаче данных по шлейфу через две районные АТС. Значительно ниже уровень помех в выделенных телефонных кабельных линиях. Так, для кабеля типа ТГ при последовательной передаче разрядов ("1" в виде положительного, а "0" в виде отрицательного импульсов) скорость передачи 100 бит/сек при дальности передачи 10 км. При испытании на кабельной линии в общем кабеле АТС промышленного предприятия число искажений кодовых групп около 0,3%. Приведенные характеристики показывают относительно ограниченные возможности таких методов связи.

Известны примеры применения подобных систем для передачи экспериментальных данных к обрабатывающей машине. Одна из таких

систем (типа IBM 1050) использовалась для полудуплексной связи между физической лабораторией и вычислительным центром, расположенными в различных городах /77/. На концах телефонной линии установлено оборудование для записи и чтения данных на перфокартах, перфоленте или магнитной ленте. Данные из многоканальных анализаторов предварительно выводились на носитель, с которого считывались и передавались во время сеанса связи. Поступающие по линии данные снова записывались на носитель и могли быть введены в машину. Передача велась со скоростью 15 либо 150 знак/сек (десятичный знак представлен комбинационным кодом "4 из 8"). Применен перекрестный контроль четности, выявляющий двойную ошибку в сообщении из 1000 знаков. По результатам испытаний из 10^3 сообщений около 97% было передано без сбоев. Описана менее сложная система /78/ для трансляции данных по телефонной сети на карточный перфоратор, расположенный у машины. Из 2048-канального анализатора данные выводятся за 2 часа.

В таких системах связи автоматизирован этап собственно передачи экспериментальной информации к машине (или от машины). Однако этапы вывода данных из анализатора и ввода этих данных в машину разделены во времени и осуществляются с использованием методов кодовой регистрации, рассмотренных выше. Применение подобных методов трансляции данных наиболее целесообразно при значительной удаленности обрабатывающих машин от источников (потребителей) экспериментальной информации, когда осуществление непосредственной связи с машиной затруднительно.

3. Методы непосредственной связи с вычислительной машиной позволяют исключить этапы перезаписи (подготовки) транслируемой информации. Последнее обуславливает более высокую эффективность тракта передачи, однако требует согласования потока данных с возможностями машины по приему и переработке информации.

В системах передачи данных от объектов с различной скоростью поступления или различным форматом отдельных слов или сообщений для согласования с заданной скоростью приема (в системах с синхронным приемом) применяют буферные запоминающие устройства. При передаче данных из многоканального анализатора проблемы согласования скорости и формата решаются относительно несложно, так как в составе такого анализатора имеется запоминающее устройство, способное относительно быстро (со скоростью более 10^4 канал/сек) выдать (или принять) достаточно большой объем данных. Данные могут быть выведены в двоичной форме, близкой к принятой в универсальных машинах. Для осуществления непосредственной передачи результатов измерений в машину необходима быстродействующая и достаточно гибкая система ввода.

В машинах первых выпусков связь с внешними объектами могла быть осуществлена посредством программно-управляемого, например, периодического опроса. Этот метод связан с относительно большими затратами рабочего времени, так как отсутствуют условия непосредственного обращения, которые характерны для новых машин. В последних машинах (машинах с системой внешнего прерывания вычислений) при поступлении от внешнего объекта соответствующего сигнала осуществляется прерывание текущих вычислений и в ближайший удобный момент (после выполнения

текущей команды или последовательности команд) — доступ к машине. При наличии сигналов управления (прерывания) и разрешения ("свободно-занято") для обращения внешних объектов к машине, или наоборот, относительно несложна организация двухсторонней связи (или даже сопряженной работы) машины и внешнего объекта. Время ожидания начала связи может быть обусловлено характером или значением внешнего объекта — соответствующим уровнем приоритета. Для реализации второго режима работы с машиной (наиболее полезного при небольшом объеме оперативной памяти) требуется усовершенствование управления машины /79,80/. После того, как прерывание вычислений осуществлено (программно-управляемое прерывание или прерывание по внешнему сигналу), поступающие данные вводятся со скоростью, определяемой временем выполнения соответствующих команд. В некоторых более поздних конструкциях предусматривается работа запоминающих устройств машины с внешними устройствами в режиме буферного накопления. В таком режиме (режиме "асинхронной связи") скорость обмена информацией с буферным накопителем определяется его характеристиками, а ожидание начала обмена может зависеть от времени обмена информацией этого накопителя с другими устройствами машины. (Этого ожидания можно избежать, удвоив количество буферных накопителей и используя их попеременно). В некоторых новейших высокопроизводительных машинах осуществлен режим промежуточного запоминания данных в оперативной памяти, без буферных накопителей /79/. Обмен информацией между объектом и машиной производится по одному из каналов ввода-вывода со скоростью, требуемой объектом. Каждый канал работает независимо от машины (центрального вычислителя) и других каналов. Буферное накопление

в отведенных зонах оперативной памяти достаточно большой емкости осуществляется путем разделения времени между машиной и каналами ввода-вывода и выделения, когда это необходимо, циклов работы памяти для каждого внешнего устройства. Так как машина использует не каждый цикл обращения, значительная часть циклов передач не вносит задержки в вычисления. Если обращение к памяти требует более, чем одно устройство, каждое из них обслуживается в порядке очередности - с учетом приоритета. Если в первых машинах информация вводилась в оперативную память через регистр арифметического устройства, то в машинах с современной структурой обмен информацией может быть осуществлен практически без арифметического устройства. Последние машины становятся все более удобным средством накопления, сортировки и поиска информации, средством приема и выдачи множества инструкций. Машины такого типа относят к информационным.

В наиболее производительных машинах, особенностью которых является распределение времени при обработке многих программ, управление выбором программы работы осуществляется программой-диспетчером. Эта же программа управляет обменом информацией и проверкой правильности обмена с внешними устройствами (вопросы взаимовлияния, распределения, синхронизации, контроля и устранения ошибок и т.п.) /81/. В мощных информационных комплексах применяют одновременную и независимую обработку информации посредством многих отдельно работающих систем - методы агрегатирования /82/. Ограничением таких методов считают сложность организации работы систем. Высокопроизводительные информационные системы позволяют эффективнее осуществить сбор и обработку больших потоков экспериментальной информации,

в том числе в ходе эксперимента (в реальном времени), одна еще не являются достаточно доступными для широкого применения в физических лабораториях. Возможности машин, используемых в настоящее время для обработки экспериментальных данных, обуславливают выбор одного из методов связи.

В течение последних лет в литературе опубликованы работы в которых сообщается о планируемых или ведущихся работах по осуществлению непосредственной связи многоканальных измерительных систем и вычислительных машин. Развитию этого направления в зарубежных физических лабораториях способствовало появление достаточно удобных для таких целей машин с развитой системой входных-выходных каналов с приоритетным прерыванием /83-84/.

Вопросы создания первых систем связи многоканальных анализаторов с отечественными вычислительными машинами рассматривались в работах /88-92/. В первой системе (системе программно-управляемой связи) /88/ данные из анализатора передавались по кабелю в машину "Киев". Информация вводилась в один из регистров арифметического устройства (по команде "ввод с перфоленты"). Этот метод ввода неудобен, так как возможны большие задержки (простой анализатора или машины) при передаче данных. Более удобной оказалась "асинхронная связь" измерительных систем с внешним накопителем этой машины /90/. При такой связи данные поступают в один из накопителей (записываются на магнитной ленте), работа которого в режиме приема данных зависит от состояния машины. Информация накапливается до необходимого для обработки объема и затем обрабатывается - по команде обращения машины к этому накопителю. Для приема и независимого ввода данных в накопитель оказалось необходимым введение

в состав машины относительно сложное приемное устройство. При такой связи оперативный прием и накопление результатов измерений во внешнем накопителе машины осуществляются без привлечения основных (центральных) устройств.

В системах связи с машиной "Минск-2" /92/, допускающей непосредственное обращение по внешнему сигналу (сигналу "прерывания"), передаваемые данные вводятся в арифметическое устройство машины. Примененный метод приоритетного прерывания текущих вычислений позволяет в этой машине осуществить не только оперативный ввод и накопление, но и оперативную обработку поступающих данных. Результаты измерений передаются в машину вместе с дополнительной информацией, необходимой для систематизации и обработки данных. Для последней системы время подготовки машины к приему информации значительно больше, чем в системе "асинхронной связи" (доли секунды /90/). Значительное время обращения к машине "Минск-2" (время автоматического переключения и подготовки программ связи порядка 10 сек) обусловлено отсутствием в составе этой машины накопителей более быстрых, чем накопители на магнитной ленте.

Особенностью рассматриваемых методов связи с машиной является высокая скорость вывода данных из измерительных систем и ввода этих данных в машину (время вывода-ввода порядка 1 сек, при скорости передачи данных ~ 4000 каналов/сек /91/). Совмещение вывода данных с передачей и вводом в машину позволило исключить ряд промежуточных операций и решить проблемы значительного ускорения и автоматизации ранее наиболее медленных и громоздких этапов. Эффективный контроль тракта передачи информации (автоматический контроль методом "контрольных сумм"

с повторениями операций вывода-ввода /90,91/) практически исключает потерю передаваемой в машину информации.

Характеристики тракта передачи информации в вычислительную машину определенно связаны с эффективностью использования времени работы экспериментального оборудования и машины, поэтому к применяемым линиям связи предъявляются относительно высокие требования. Для эффективной передачи экспериментальной информации применяют коаксиальные кабели (с полосой частот более 10^6 гц) и симметричные кабели связи (магистральные кабели связи с полосой частот до $10^5 - 10^6$ гц) /93/. Так, в системах /88-92/ данные (16-разрядные двоичные числа) передаются по коаксиальному кабелю РК-100-7-II на расстояние 1,5 км последовательным кодом. При средней скорости передачи до 10^5 бит/сек (период следования кодовых импульсов 4 мксек) вероятность ошибки в разряде 10^{-6} или менее. Сообщалось о передаче данных из 1000-канального анализатора в машину IBM I40I по коаксиальному кабелю за 1-1,5 сек /94/. В случае использования симметричного кабеля для увеличения скорости передачи кодов применяют параллельную передачу разрядов. Каждый разряд или группа разрядов передаются по отдельной линии из пары скрученных проводов. Как показали испытания /95/, при параллельной передаче 12-разрядных чисел на расстояние 1,5 мили с вероятностью ошибки в числе $6 \cdot 10^{-5}$ скорость передачи 5000 чисел/сек. (При длительности кадового сигнала 150 мксек уровень перекрестных помех по отношению к сигналу составляет 10%.) При передаче чисел по аналогичным линиям на расстояния до 700 футов длительность кодовых импульсов может быть сокращена до микросекунд /95,96/. В системе связи 4096-канального анализатора с машиной ASI-2100

(время обращения к памяти 2 мксек) 18-разрядные коды могут передаваться с частотой 125 кгц на расстояние 75 футов /87/. Применение подобных каналов связи в последних системах связи существенно ограничивает дальность эффективной передачи (из-за снижения эффективности и повышения стоимости канала связи). Быстродействующие системы непосредственной связи, как правило, проектируются на расстояние порядка одного километра и менее.

4. Возможность сопряженной работы многоканальной измерительной системы и обрабатывающей машины, реализуемая с применением систем непосредственной связи, позволяет рассматривать их совокупность как единый функционально связанный комплекс для получения и переработки экспериментальной информации. При этом можно рассматривать измерительную систему (или её выходное устройство) как добавление к вычислительной машине (внешнее устройство машины), так же как и машину — в качестве добавления к измерительной системе. Возможность обработки данных в ходе эксперимента может быть использована для более эффективного контроля или управления экспериментом /84/. Осуществление обратной связи от машины к экспериментатору приведет к более тесному "контакту" с экспериментом и, следовательно, к более эффективному вмешательству экспериментатора в ход эксперимента, а непосредственно к экспериментальному оборудованию — к комплексной автоматизации, возможности автоматической оптимизации проведения экспериментов и т.д.

Для первого направления одна из основных проблем состоит в облегчении обмена информацией между машиной и человеком. С этой целью все более широкое применение находят индикационные пульта (с электронно-лучевыми трубками), которые зарекомендовали себя как удобное и эффективное средство не только

индикации цифровой и графической информации, но и ввода данных в машину /97/. Создаваемые с использованием таких пультов называемые системы поиска и индикации данных удобны "разговора" (разговорного программирования) оператором с машиной.

Для ввода дополнительных данных или инструкций в машину получает применение "световой карандаш", воспринимающий в своем поле зрения изменения интенсивности света на экране трубки. Световой карандаш устанавливается оператором в положение той точки изображения, которая должна быть направлена в машину. Машина воспринимает координаты, цифровой код слова команды. Описаны устройства и для ввода кривых в машину (перемещение "шара" кодируется в виде координат /98/ траектория движения "пера" считывается и преобразуется в изображение, в свою очередь, преобразуемые в сигналы для восприятия на экране соответствующего контура /98/ и т.д. Однако чаще применяют более простые устройства, выполненные на основе клавиатуры пишущей машинки и других переключателей. В пультах, оборудованных электрофицированными пишущими машинками, одновременно с набором команды печатается соответствующий текст и, кроме того, возможно печатание информации, поступающей из машины. Операции человека, вызывающие изменение в программе обработки, можно рассматривать как обратную связь от человека к результатам вычислений, к машине.

Разработаны информационные системы, которые позволяют многим операторам физически разделенных пультов (станций) одновременно (по методу разделения времени) задавать вопросы общей машине или комплексу машин. Оператор набирает (печатает

код вопроса (или указывает координаты интересующих его точек изображения) и наблюдает его на своем экране, затем отправляет свой вопрос из буфера в вычислительную машину. Машина воспринимает вопрос, отыскивает запрашиваемые данные, формирует и передает ответ. Оператор видит ответ в виде отпечатанного на бумаге текста или на экране своего пульта. В одной из таких систем (типа " Control Data 210 W ") на периферийных станциях (до 63 станций) возможен набор страниц по 20 x 50 знаков, которые затем передаются на расстояние до 300 метров со скоростью 10⁴ знак/сек. Известны примеры использования подобных методов в ряде зарубежных измерительно-обрабатывающих центров с целью уменьшения объема обрабатываемой экспериментальной информации, сокращения времени получения результатов эксперимента, не предусмотренных программой изменений или вариантов, пробных вычислений, оперативной оценки и сравнения результатов и т.д., например /83,99,100/.

В системе обмена данными с машиной "Минск-2" /92,101/ экспериментатор на клавиатуре набирает "обращение к машине" (режимы связи с машиной, программы обработки, признаки или характеристика информации, передаваемой в машину или требуемой из машины, и другие дополнительные сведения) и наблюдает набираемое на цифровых индикаторах. "Обращение" вместе с данными, выводимыми из многоканальной измерительной системы, может быть непосредственно передано в машину, либо записано в буферное запоминающее устройство (до 4096 чисел). Машина воспринимает "обращение" и в соответствии с полученной инструкцией принимает поступающие результаты измерений и записывает их в накопитель либо подвергает требуемой

обработке, либо осуществляет поиск информации с заданными признаками. Результаты обработки или другая требуемая информация, поступающие из машины, записываются в буферное запоминающее устройство. Полученный из машины ответ экспериментатор может вывести на цифропечать или график или увидеть на экране электронно-лучевой трубки. К времени обмена информацией с машиной добавляется время собственно обработки в машине, так что экспериментатор имеет возможность в ходе эксперимента получать результаты обработки (с задержкой порядка минуты).

Применение новых средств ввода-вывода информации, буферного накопления и мультипрограммной работы машин, сделавших не только практически возможным, но и экономически целесообразным ручное вмешательство человека в работу машины, не останавливая её, а также использование промежуточных языков, упрощающих связь с исследователем, не решают всех проблем облегчения "разговора" с машиной. Проблемы перевода вырабатываемой человеком информации, передаваемой в виде таких реакций, как речевые сообщения, движения, рисунки, в форму, пригодную для отдачи указаний машине, и еще более сложная проблема создания машин, которые распознают эти реакции, налагает определенное ограничение на взаимодействие человека и машины. Описан пример системы /102/, в которой входным устройством является наборный диск телефона. Для обратной передачи данных из машины используются речевые сигналы (сформированные при помощи цифро-аналогового преобразователя), поступающие на телефонную трубку обычного телефонного аппарата. Одна из схем непосредственного взаимодействия оператора с машиной предложена в работе /103/. Человек, не имеющий опыта работы с информационной системой,

нажимая кнопку, получает от машины необходимые инструкции, описание её возможностей и т.п. Если за пультом окажется опытный оператор, то машина по его действиям, либо каким-то испытанием, определит компетенцию человека. Таким образом, если при проектировании информационной системы будут предусмотрены возможности обучения, она сумеет узнать об операторе необходимые данные (его способности, знания, время реакции и т.п.) Оператор по мере того, как вникает в сущность возможностей системы и способы их использования, может модифицировать ее в соответствии со своими требованиями. Такой подход в будущем приведет к увеличению эффективности взаимодействия оператора и машины.

Другой круг проблем перспективного характера связан с использованием машин для управления экспериментом. Вычислительная машина в системе управления может быть использована в режиме получения информации, необходимой для управления (преобразование, вычисления или анализ данных), в режиме программного управления объектом и в режиме управления по замкнутому контуру. Ряд особенностей первого режима (режима "машины-советчика") отмечен выше. Во втором режиме входные данные или набор инструкций в машине преобразуются в инструкции для исполнительной системы. Сложность систем управления с обратной связью, помимо двойного преобразования величин (на входе и выходе), обусловлена введением вычислительной машины с относительно большим временем вычислений. Особенности работы таких систем (работа в реальном масштабе времени и конечное время переработки поступающей информации) определяют требования высокой скорости вычислений, надежности и избыточности

оборудования и возможности функциональных перестроений. Действие подобных систем должно протекать, по-первых, со скоростью моделируемого события и, во-вторых, со скоростью достаточной для анализа или управления внешними событиями, происходящими в последующем /104/.

При включении машины в автоматический комплекс для управления экспериментом, включающий источники информации и оборудование для контроля и управления источниками информации, можно ожидать существенное увеличение потока полезной входной (выходной) информации. При этом часть информации будет перерабатываться немедленно, а часть будет использоваться позднее. Управляющее воздействие может вырабатываться также немедленно либо с задержками в процессе эксперимента. Такой характер работы управляющей системы требует значительного увеличения емкости запоминающих устройств и применения многокаскадных систем запоминания /105/. Имеются сведения о проектах управляющих систем для автоматизации экспериментальных исследований /51, 106/. Помимо задач многоканального анализа и оперативной обработки информации машина предназначается для управления по замкнутому контуру положением детекторов, режимом работы ускорителя. В работе /107/ рассмотрен проект системы управления 8 нейтронными спектрометрами (управление с пульта каждого спектрометра и с использованием печатающей машинки как вводно-выводного средства и управление с использованием запоминаемой программы). В систему управления включена высокопроизводительная машина для сбора (в режиме буферного накопления в оперативной памяти) и переработки данных, поступающих от внешних устройств. Развитие последних направлений позволит более эффективно

использовать возможности сложных физических экспериментальных установок, стоимость и рабочее время которых оценивается весьма дорого.

* * *

Развитие методики многоканальных измерений привело к применению различных методов вывода результатов измерений. Приведенные выше материалы показывают разнообразие применяемых технических решений. Еще большие возможности появились в последние годы в связи с развитием вычислительных машин. На рис. I в систематизированном виде представлены методы вывода, применение которых возможно (в настоящее время или в ближайшие годы) при создании измерительно-обрабатывающих комплексов ядерной физики.

Сложившееся положение таково, что аппаратура, связанная с выводом и представлением данных, по своему объему и сложности несоизмерима с остальным оборудованием измерительной системы, особенно, когда предъявляются повышенные требования к скорости и надежности вывода, удобной форме представления и записи информации. Создание крупных измерительных центров потребовало поиска методов, которые позволили бы еще более увеличить производительность вывода и эффективность использования аппаратуры /108,109/.

Можно отметить ряд этапов (или уровней) автоматизации физического эксперимента. На первом этапе были автоматизированы операции измерения, а документальная запись данных, вычисления и анализ результатов эксперимента проводились экспериментатором вручную или при помощи вспомогательных средств. На втором этапе автоматизированы не только операции измерений, но и документальная запись данных. На третьем этапе, с применением

вывода выходной информации в форме, удобной для ввода в обрабатывающую вычислительную машину, с развитием новых методов передачи данных в вычислительные машины, экспериментатор освобождается и от операций вычисления. Наконец, при дальнейшем развитии методов непосредственной связи с вычислительными машинами и более широкого использования машин в эксперименте всё более сокращается количество ручных операций, связанных с анализом и интерпретацией результатов эксперимента. Осуществление непосредственного обмена информацией с обрабатывающей машиной позволяет считать уже сейчас реальной постановку и решение проблем комплексной автоматизации, кибернетизации физических экспериментов.

Измерительные системы, связанные в единый комплекс вычислительными машинами, применяются в экспериментах ядерной физики около 3-х лет, и имеющийся опыт дает далеко не исчерпывающий ответ на вопросы, поставленные в последнее время в связи с возрастающей необходимостью дальнейшей автоматизации физического эксперимента. Попытки использовать малые вычислительные машины для сложной обработки данных, особенно в процессе эксперимента, наталкиваются на существенные трудности (трудности программирования, малый объем и быстродействие запоминающих устройств). В этих условиях определенные преимущества дает непосредственная связь малых машин (которые, в частности, могут выполнять функции сбора и обработки данных характерные для специализированных многоканальных измерительных систем) с высокопроизводительными машинами (например, как в системе /87/). Сочетание специализированной измерительной аппаратуры, малых вычислительных машин (с развитой системой

входных-выходных каналов с приоритетным прерыванием) и высокопроизводительных (обрабатывающих, информационных) машин, охваченных каналами связи и непосредственно обменивающихся информацией, является наиболее эффективным способом удовлетворить разнообразные и нередко противоречивые требования быстро развивающейся методики физического эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. Л.А.Маталин, С.И.Чубаров, А.А.Иванов. Многоканальные анализаторы ядерной физики. Атомиздат. Москва. 1964г.
2. В.Д.Глезер, И.И.Цукерман. Информация и зрение. Изд.АН СССР, М. 1961г.
3. Г.Х.Гуд, Р.Э.Макол. Системотехника. Изд."Сов.радио". М. 1962г.
4. С.С.Бруфман. Цифровые индикаторы. Изд."Энергия".М.-Л.1964г.
5. А.М.Шауман, И.Я.Березная. В сб."Вычислительная техника и вопросы программирования", вып.2, стр.72. Изд.ЛГУ. 1963г.
6. R.M.Peterson. IRE Nat.Conv.Record, 1958, part 3, p.21.
7. W.H.Bliss, I.E.Rued. RCA Review, 16,N1, 5 (1955).
8. Electrical Engineering, 28,p.448(May 1956).
9. K.Schleisinger, B.Maggon, A.F.Hogg. IRE Nat.Conv.Record, 1957, vol.5, part 3, p.160.
10. И.А.Артеменко, Н.Н.Павлог Ф.М.Харченко. "Автоматика и приборостроение". 1961, № 4, 85.
11. C.W.Norwood. Bell Lab.Record, vol.31, II, N2, 40(1958).
12. И.И.Пакулов, Э.Ф.Ульяненко. Автоматика и телемеханика, 26, № 2, 375 (1965).
13. R.W.Johson. Computers and Automation, 13,N5, 12(1964).

14. C.Rockwood. Proc.Conf.Utilization Multiparameter Analyzers, p.104. New York. 1962.
15. G.B.Michael. Там же, стр.II2
16. I.V.Shtanikh, V.N.Bochkarev, A.N.Volkov, V.M.Geraseev. Electronique Nucleaire, p. 587. Proc.Intern.Symp. Paris 1962
17. М.П.Соколов. Труды 6 конф. по ядерной радиоэлектронике. Том 2, стр.102. Атомиздат М.1965г.
18. Н.Д.Карнаухов, Ф.Е.Чукреев. Там же, стр.120
19. Н.Н.Савета. Приборы и средства автоматизации, 1964 г., № 8, 3
20. N.Statland. Computers and Automation, 13, N11, 14(1964).
21. E.J.Stefanides. Design News, 18, N16, 10(1963).
22. Приборы и средства автоматизации, 1964г., № 8, стр.10,15.
23. В.В.Новиков и др. Инженерно-технический справочник по электросвязи. Телеграфия. Изд. "Связь". М. 1963г.
24. И.В.Штраних. Диссертация. ФИАН им.Лебедева. 1954г.
25. Г.П.Мельников. Труды 5 научно-технической конференции по по ядерной радиоэлектронике. Том 4, стр.101, Госатомиздат, М. 1963г.
26. Ю.А.Глухов, А.А.Курашов, Г.П.Мельников, В.А.Сидоров. Там же, стр.II5.
27. М.Н.Иванов, Т.М.Петрова. Там же, стр.140
28. А.Б.Екатов, там же, стр.87.
29. Б.Ю.Семенов, Н.С.Фролов. В сб."Устройства вывода информации из многоканальных анализаторов", стр.10, № 5-64-74I/2I. ГОСИНТИ. Москва. 1964г.
30. Л.П.Бубекова, В.Н.Замрий, Б.Юхас. Там же, стр.1; препринт ОИЯИ. I250. Дубна. 1963г.
31. Л.А.Маталин, А.М.Шиманский, С.И.Чубаров, И.В.Штраних. Приборы и техника эксперимента, 1963, № 3, 57.
32. М.П.Соколов. Труды 5 научно-техн. конф. по ядерной радиоэлектронике, том 4, стр.125. Госатомиздат. М. 1963г.
33. А.Ф.Белов, А.Л.Белоус, К.Ф.Кузнецов, С.С.Курочкин, В.В.Саличко. Цифровая система накопления и обработки информации. Госатомиздат. М. 1963г.
34. М.Г.Щербак. Вопросы радиоэлектроники, сер.7, 1964г., вып.2, стр.68.
35. I.I.Wild. Electronics, 1952, N5, 116.
36. Data and Control. 1, N7, 38(1963).
37. Control Engineering, 11, N3, 103(1964).
38. W.A.J.Davie. Journal Brit. IRE, 20, N9, 675(1960).
39. В.А.Владимиров, В.Н.Замрий. Препринт ОИЯИ. 2683. Дубна, 1966г.
40. Л.В.Афанасьева, Ю.Е.Карпешко. Электрофотографическая запись изображений. Изд. "Связь". 1965г.
41. D.Blechert. Elektronische Rundschau, 1962, N16, 75.

42. Быстродействующий электронный печатающий аппарат. В сб. "Вопросы электрографии", стр.237. ИЛ. 1960г.
43. Р.Г.Олден. Там же, стр.202.
44. А.И.Рожкинд. Там же, стр.209.
45. С.Д.Бигэн. Там же, стр.241.
46. L.D.Shergalis. *Electronics*, 36, N21, 26(1963).
47. Ф.Е.Темников. Автоматические регистрирующие приборы. Машгиз. 1960г.
48. В.В.Архипов, П.Н.Полохин. "Приборостроение". 1960, № I, 26.
49. Е.П.Басов, Г.М.Петров, А.Н.Ратников. Вопросы радиоэлектроники, сер.7, 1964, вып.2, стр.55.
50. R.L.Chase. *Nuclear Puls Spectrometry*. New York. 1961.
51. П.М.Зейдлиц, С.П.Цитко, В.А.Ямницкий, А.Ф.Макаров и др. Материалы II симпозиума по ядерной радиоэлектронике. Препринт ОИЯИ. 2205, стр.133. Дубна, 1965 г.
52. А.А.Саннин. Труды 5 научно-техн.конф. по ядерной радиоэлектронике, том 4, стр.84. Госатомиздат. М. 1963г.
53. Р.М.Пэти. Материалы выставки французских приборов. Москва. 1964г.
54. *Catalogue Nuclear Equipment*. Intertechnique. Paris.1964.
55. J.V.Mahony. *Automation*, 10, N9, 82(1963).
56. Вычислительная техника. Том 2. Под ред.Г.Д.Хаски и Г.А.Корна. Изд."Энергия". М.-Л. 1964г.

57. В.А.Владимиров, В.Н.Замрий. Труды 6 конф. по ядерной радиоэлектронике, т.3, ч.2, стр.29. Атомиздат. М. 1966г.
58. *Facit Products for Modern Data Processing Equipment*.
Проспект фирмы *Facit*, Швеция.
59. B.A.Euler, P.L.Phelps, D.E.Covell. *Nucl.Instr. Methods*, 34, N3, 226(1965).
60. I.R.Kannolt, K.H.Miller. *Proc.Nat.Electron.Conf.*, 19, p.295. Chicago. 1963.
61. C.F.Beckett, J.D.Gallagher, H.B.Glascook. *Proc.Conf.Utiliz. Multiparam.Analyzers*, p.90. New York. 1962.
62. *Process Control and Automation*, 10, N6, 252(1963).
63. R.J.Spinrad. *Nucleonics*, 21, N2, 46(1963).
64. Г.И.Забиякин. Препринт ОИЯИ. 1834. Дубна. 1964г.
65. Б.Г.Минаев, Ю.В.Ступин, И.В.Штраних. Препринт ФИАН СССР, А - 149, Москва, 1965г.
66. T.G.Chapman. *Computer Journ.*, 6, N3, 214(1963).
67. Передача цифровой информации. Сб.под ред. С.И.Самойленко. ИЛ, Москва 1963г.
68. Н.Я.Караченцева, К.Д.Французова, Ф.Г.Клаванская. В сб. "Вычислительная техника", стр.III. Изд. "Наука и техника", Минск, 1965г.
69. Н.Г.Зайцев, В.А.Лосбедев, А.Б.Тяhti. Техническая кибернетика, 1965, № 5, 163.
70. *Control Engineering*, 8, N2, 127(1961).

71. C.E.Shannon, W.Weaver. The University of Illinois Press,
1949, p.3.
Перевод в сб. "Теория передачи электрических сигналов при
наличии помех". ИЛ. Москва, 1953г.
72. R.L.Plouffe. IRE Nat.Conv.Record, 1958, part 8, p.186.
73. J.L.Hollis. IRE Wescon. Record, 1960, part 5, p.132.
74. Bell System Technical Journal, May 1960, p.431.
75. R.F.Shaw. Control Engineering, 8, N11, 119(1961).
76. Ю.М.Виноградов. Приборы и средства автоматизации, 1965,
вып. I, стр.60
77. H.Horstmann. Automatic Acquisition and Reduction Nuclear
Data, p.413. Proc.Conf.EANDC.Karlsruhe. 1964.
78. К.Г.Кёниг, С.Кюнерт. Материалы I Симпоз. по ядерной радио-
электронике. Будапешт. Препринт ОИЯИ, 1677, стр.148.
Дубна. 1964г.
79. "Проектирование сверхбыстродействующих систем". Сб.под ред.
В.Бухгольца. Изд. "Мир" М. 1965г.
80. В.В.Захаров. Препринт ОИЯИ. 2292, Дубна, 1965г.
81. Elektronische Rechenanlag. 7, N2, 91(1965).
82. A.J.Critchlow. IEEE Spectrum, 1, N3, 193(1964).
83. J.Leng, A.Pearson. Electron.Nucl., p.519. Proc.Int.Symp.
Paris. 1963.
84. W.E.Miller. Autom.Acquis.Reduct.Nucl.Data, p.41. Proc.Conf.
EANDC. Karlsruhe. 1964.

85. L.J.Lidofsky Там же, стр.9
86. L.B.Robinson, F.S.Goulding Там же, стр.164.
87. R.H.Vonderohe, D.S.Gemmel. Там же, стр.156.
88. В.А.Дорофеев, Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий, В.И.Маркоменко
и др. Труды 5 научно-техн.конф. по ядерной радиоэл. т.4,
стр.7. Госатомиздат М. 1963г.
89. G.I.Zabyakin, V.N.Zamry, V.I.Semashko. Electronique
Nucleaire, p. 565, Proc. Int. Symp., Paris. 1963.
90. Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий, В.И.Семашко. Приборы и техника
эксперимента, 1964, № 4, 139.
91. Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий. Труды 6 конф. по ядерной радио-
электронике, т.3, ч.1, стр.100. Атомиздат. М. 1965г.
92. В.Н.Замрий. Препринт ОИЯИ. 2718. Дубна. 1966г.
93. Д.С.Бачелис, Н.И.Белоруссов, А.Е.Саакян. "Электрические
кабели". Госэнергоиздат М-Л 1963г.
94. A.C.L.Barnard, R.Keyes, J.A.Buchanan. Autom.Acquis.Reduct.
Nucl.Data, p. 170. Proc.Conf.EANDC. Karlsruhe
.1964.
95. R.McNaught, A.Pearson. Там же, стр.409.
96. H.R.Schneider. Там же, стр.65.
97. D.E.Weisberg. Computers and Automation, 13, N5, 29(1964).
98. Electronics Equipment News, 2, N8, 24(1963).

