

3. Буш А. В., Гайнутдинов Х. Л., Хиченко В. И. Исследование вольт-амперных и инактивационных характеристик ионных каналов нейрональных мембран с помощью ЭВМ.— Автометрия, 1981, № 4.
4. Долгов О. Н., Полетаев А. Б., Шерстнев В. В. Белковая специфичность как основа молекулярной организации интегративной деятельности нервной системы.— УФН, 1980, т. 11, № 3.
5. Маурер Г. Диск-электрофорез. Теория и практика электрофореза в поллакриламидном геле. М.: Мир, 1971.
6. Горш Л. В., Лавриненко Н. А., Штарк М. Б. Исследование белкового спектра различных структур мозга зимоспящих.— В кн.: Механизмы зимней спячки млекопитающих. Владивосток: изд. ДВНЦ АН СССР, 1977, с. 82—85.
7. Pohle W., Matthies H. Incorporation of ³H-leucine into Brain Cells After Learning.— Pharmac. Biochem. and Behavior., 1974, vol. 2, p. 573—577.
8. Popov N. et al. Changes in Labelling of Soluble and Solubilized Rat Brain Proteins Using ³H-leucine as Precursor During a Learning Experiment.— Acta Biol. Med. Germ., 1975, vol. 34, p. 583—592.
9. Кюлик Э. А. и др. Применение ЭВМ в газовой хроматографии. М.: Наука, 1978.
10. Касперович А. Н., Солоненко В. И. Крейт-контроллер к ЭВМ «Электроника-60».— В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. [Тез. докл. Всесоюз. конф.]. Новосибирск: изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1979, с. 6—7.
11. Приманчук Н. А. и др. Модули телевизионного дисплея в стандарте КАМАК.— Автометрия, 1980, № 4.
12. Clout P. N. CAMAC Software.— IEEE Trans. on Nuclear Sci., 1977, vol. NS-24, N 1.
13. Бэйсик. Программное обеспечение ЭВМ «Электроника-60». М.: ЦНИИЭлектроника, 1978.

Поступила в редакцию 22 января 1981 г.

УДК 150.72.002.5

Ю. К. АЛЛНК, А. Г. ЛУУК, М. Х. МПЙЛЬ

(Тарту)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Особенности автоматизации экспериментов в психологии. Предпосылки автоматизации психологического эксперимента имеют ряд отличительных черт по сравнению с автоматизацией экспериментов в нейрофизиологии и биофизике. Как правило, в психологическом исследовании в качестве испытуемых участвуют люди, которые добровольно согласны быть в этой роли лишь ограниченное время. Поэтому психолога-экспериментатора всегда интересовало эффективное использование времени эксперимента, достижение максимально возможной организованности, надежности и краткосрочности его. Уровень этих требований еще больше возрастает, если исследование проводится в прикладных целях за счет рабочего времени испытуемого. С другой стороны, от сложного эксперимента требуется, чтобы процедура протекала для испытуемого естественно, без применения жесткого принудительного темпа со стороны экспериментатора или аппаратуры. Для каждого испытуемого заданный темп и порядок предъявления сигналов должны быть по возможности индивидуальными. Это означает, что каждый психологический эксперимент должен проходить в адаптивном режиме: такие характеристики действия испытуемого, как скорость, качественная или количественная сторона его ответной реакции определяют те или иные параметры последующей стимуляции [1, 2].

Как и в других сферах автоматизации исследований, к техническим средствам автоматизации психологического эксперимента относят ЭВМ

для управления, сбора и обработки информации, каналы передачи данных в иерархических системах, средства сопряжения экспериментального оборудования с ЭВМ и собственно экспериментальную аппаратуру (средства стимуляции и датчики) [3—5].

В психологическом эксперименте у испытуемого можно регистрировать три вида показателей: психофизиологические, проявления деятельности и речевые реакции. В некоторых случаях все эти показатели могут регистрироваться в ходе одного эксперимента, но чаще ограничиваются одним или двумя видами. К первому из них относятся ЭЭГ, вызванные потенциалы, ЭМГ, плетизмограмма, пневмограмма, температура, кожно-гальваническая реакция (КГР), артериальное давление, пульс и некоторые другие [6]. Показателями внешней деятельности служат движения: изменение положения тела, конечностей, головы и глазных яблок в пространстве или результаты этой деятельности. Речевыми реакциями являются сообщения о воспринятых стимулах, суждения о принятых решениях, одно- или многомерные оценки контролируемых в эксперименте параметров.

Наибольшие достижения имеются в сфере автоматизации ввода и обработки в ЭВМ психофизиологических показателей. Это вызвано тем, что во многих случаях с человека снимается электрический сигнал, в остальных — регистрируемый параметр легко преобразуется в электрический сигнал, ввод которого в цифровом виде в ЭВМ не вызывает затруднений. Поскольку психофизиологические показатели широко применяются в физиологических исследованиях, имеются хорошо разработанные алгоритмы для их анализа. В меньшей степени изучены вопросы ввода в ЭВМ в реальном масштабе времени информации о двигательных актах человека. Основная трудность здесь — отсутствие подходящих преобразователей движений тела или конечностей в электрический сигнал. В последнее время эти вопросы стали решаться успешнее, особенно вопросы регистрации движений глаз и конца указки (карандаша) в руке оператора [7, 8]. Автоматический ввод речевых реакций в ЭВМ психологам в настоящее время почти недоступен, за исключением тех случаев, когда сама речь является предметом автоматизированного анализа. Поэтому в экспериментах требуется перекодирование речевой информации в алфавитную или цифровую форму до ввода в ЭВМ. В зависимости от условий эксперимента роль кодировщика может быть отведена экспериментатору или самому испытуемому. В будущем с появлением доступных для психологов ЭВМ, оснащенных программными и техническими средствами анализа речи, они будут играть большую роль в развитии психологического эксперимента. Применяемые в психологическом эксперименте стимульные средства существенно не отличаются от используемых в физиологии. Самыми популярными можно считать визуальные средства предъявления информации, такие как светоизлучающие диоды и матрицы на их базе, электролюминесцентные панели, матрицы и индикаторы, диапроекторы, ЭЛТ как основу для специализированных графических и алфавитно-цифровых дисплеев, разнообразные источники света. Слуховая, тактильная и другие виды стимуляций, в том числе раздражение электрическим током, используются редко.

При всем разнообразии других атрибутов автоматизированного эксперимента наметилась тенденция к стандартизации средств сопряжения и каналов передачи данных [9—11]. Известные магистрально-модульные системы КАМАК и ВЕКТОР, стандарт МЭК на интерфейс и другие позволяют во вновь создаваемых системах с меньшими затратами средств и времени добиться решения проблем сопряжения экспериментального оборудования с ЭВМ. Необходимость применения стандарта КАМАК в психологии требует специального анализа. Поскольку основную трудность представляет не высокая цена, а недоступность системы КАМАК для

психологических лабораторий в настоящее время, анализ можно проводить на основе аналогии с другими сферами его использования [4, 5]. В подавляющем большинстве случаев в психологическом эксперименте масштаб реального времени начинается с миллисекундного диапазона. Для такого временного разрешения применение КАМАК целесообразно в случае необходимости обработки многих сигналов аппаратными средствами. Такая необходимость может возникнуть в групповом или многопараметрическом эксперименте на отдельных испытуемых. К последнему виду исследований могут относиться такие, как определение функционального состояния испытуемого, манипулирование обратной связью при анализе сенсомоторных процессов, применение сложных, синтезированных на ЭВМ стимулов, параметрами которых управляет испытуемый, и др. В самом ближайшем будущем в психологических лабораториях возможно появление систем КАМАК в составе ИВК [12, 13], откроются хорошие перспективы для расширения объема и содержания экспериментальных работ в направлениях, недоступных лабораториям с минимальными техническими средствами автоматизации.

В связи с необходимостью расширения сферы применения автоматизированного эксперимента в прикладных целях возникает задача разработки номенклатуры необходимых функциональных модулей для экспериментально-психологических исследований. Одновременно с этой задачей нужно решить и проблему их сопряжения с ЭВМ. Предпочтительно при этом соблюдение определенного стандарта на интерфейс. Нами сделана попытка построения экспериментальной системы по магистрально-модульному принципу, предназначенной для сопряжения со специализированной ЭВМ «Электроника ДЗ-28».

Описание системы. Основой экспериментальной системы является программируемый интерфейс. С помощью интерфейса осуществляется побитовый обмен информацией между ЭВМ и периферийными модулями по инициативе первой или на основе системы прерывания программы ЭВМ. Информационный обмен между модулями возможен только через ЭВМ. Адресуемое поле внешних устройств ЭВМ «Электроника ДЗ-28» составляет 256 адресов, из них в интерфейсе использована половина. Восемьбитовый модуль занимает два адреса. Один из них определяет системный регистр в модуле, в который записывается информация о режиме работы, типе и качественной стороне принимаемой или выдаваемой информации и т. д. Другой адрес определяет функциональный регистр модуля, через который происходит обмен данными. Если формат данных для модуля превышает восемь битов, в нем используются три адреса или более. Системные и функциональные регистры сгруппированы отдельно, чтобы удобнее и оперативнее было обращаться к различным модулям, режимы которых установлены заранее. Адрес регистра устанавливается адресным байтом, который выдается по адресной шине ЭВМ в режиме обмена информацией. Предусмотрена возможность программно определять количество регистров, к которым можно обращаться без изменения адреса на соответствующей шине ЭВМ. В этом случае адресным байтом выбирается номер регистра, начиная с которого организуется обмен информационными байтами за данный цикл. Каждым следующим байтом обменивается регистр, порядковый номер которого на единицу больше предыдущего. Этот цикл продолжается до тех пор, пока количество обмениваемых байтов не достигает числа, запрограммированного в интерфейсе. Далее цикл возобновляется. Этот режим необходим при обращении поочередно к нескольким АЦП или ЦАП не чаще, чем через 4—5 мс: столько времени потребуется для данной ЭВМ, чтобы программно изменить адрес на своем выходе. Адресный байт от ЭВМ дешифрируется в интерфейсе и передается к модулям в виде адресного сигнала по индивидуальным линиям. Магистраль данных имеет разрядность восемь битов

| Контакт разъема | Функция | Контакт разъема | Функция | Контакт разъема | Функция |
|-----------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------------|
| a_1 | -24В | b_1 | 0В | c_1 | -12В |
| a_2 | +24В | b_2 | +6В | c_2 | +12В |
| a_3 | Резервный | b_3 | Управление | c_3 | Данные $\overline{X1}$ |
| a_4 | » | b_4 | » | c_4 | » $\overline{X2}$ |
| a_5 | Адрес | b_5 | » | c_5 | » $\overline{X4}$ |
| a_6 | » | b_6 | Резервный | c_6 | » $\overline{X8}$ |
| a_7 | » | b_7 | Сигнал таймера | c_7 | » $\overline{Y1}$ |
| a_8 | » | b_8 | » | c_8 | » $\overline{Y2}$ |
| a_9 | Управление | b_9 | Прерывание | c_9 | » $\overline{Y4}$ |
| a_{10} | Ответ модуля | b_{10} | » | c_{10} | » $\overline{Y8}$ |

и является двунаправленной, т. е. по одним и тем же линиям данных можно осуществлять как прием, так и передачу информации. Кроме линий данных и адресов, модули с интерфейсом соединяют линии управления и прерывания. В таблице представлено назначение выводов модуля.

Интерфейс может работать в синхронном и асинхронном режимах. Асинхронный режим основан на принципе запроса-ответа [14]. В этом режиме источник информации вырабатывает сигнал о выдаче данных и направляет его в приемник информации. Приемник фиксирует данные и сигнализирует об этом источнику, который снимает передаваемые данные. В синхронном режиме темп выдачи и приема информации задается программно. В этом случае время между выдачей-приемом отдельных байтов информации определяет программируемый от ЭВМ таймер. Такой режим необходим для упрощения программирования управления экспериментом, где события должны быть разделены во времени. Таймер может выдавать временные интервалы от 10 мкс до 0,66 с с шагом 10 мкс. Электронная часть интерфейса размещена на трех печатных платах. Блок-схема устройства изображена на рис. 1.

В системе можно выделить системные и функциональные модули. К первым, кроме модуля сопряжения, относятся модули определения вектора прерывания, таймера, связи с другой ЭВМ «Электроника ДЗ-28», связи с внешним запоминающим устройством на ферритовых сердечниках с объемом памяти 4 К байт и модуль связи с двухкоординатным самописцем типа Н306. Функциональные модули обеспечивают программное управление работой средств стимуляции и автоматический ввод в ЭВМ информации с датчиков. Структурная схема модульной экспериментальной системы на базе ЭВМ «Электроника ДЗ-28» изображена на рис. 2.

В качестве конструктивной базы выбрана система конструкций типа «Вишня». Это позволяет легко компоновать систему по модульному принципу из промышленно выпускаемых блоков, каркасов и стоек. Благодаря применению в конструктивах 30-контактных разъемов типа РП 14-30 между модулями удастся организовать обмен данными 8-битовыми байтами. С помощью тех же разъемов к каждому модулю подводится питание ± 6 , ± 12 и ± 24 В из блока питания БНН-2-90-01. В модулях высотой 160 мм размещаются печатные платы размером 200×120 мм. Минимальная ширина передней панели составляет 40 мм и увеличивается с шагом 20 мм. В качестве элементной базы служат в основном ИМС серии К155.

Пример использования системы. В качестве примера использования

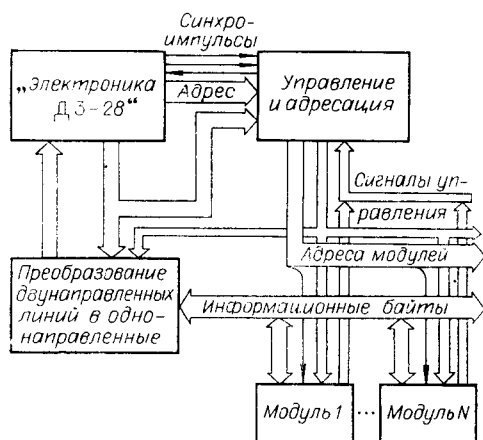


Рис. 1.

описанного выше комплекса приведем эксперимент по исследованию одномерного зрительного слежения с регистрацией движений глаз.

Для проведения этого исследования, кроме вышеописанной, использовались специальная аппаратура для предъявления зрительных сигналов наблюдателю и взаимноиндуктивная методика регистрации движений глаз. В качестве стимуляционного устройства применялась проекционная система. От объектива свет падал на зеркальце, прикрепленное на валу перодержателя самопишущего гальванометра НЗ38. От поверхности зеркала, покрытого слоем алюминия, луч отражался и проецировался на просвет на экран из тонкой белой синтетической пленки. С расстояния 57 см наблюдатель видел на экране световое пятно диаметром 15' и яркостью 8 нт. Повороты зеркальца управлялись сигналом от ЦАП. Функция, управляющая пространственным положением цели во времени, являлась суммой двух косинусоидальных сигналов f и f_2 с равной амплитудой. Разница между абсолютными амплитудами отклонения влево и вправо составляла 8°. Основная частота гармонического движения равнялась 0,48 Гц. Повороты глазного яблока испытуемого регистрировались с помощью взаимноиндуктивного преобразователя [15, 16]. На глаз наблюдателя прикреплялось алюминиевое контактное кольцо [17]. Взаимноиндуктивная методика совместно с контактным кольцом позволяла регистрировать горизонтальную составляющую движений глаз в пределах $\pm 15^\circ$ с абсолютной погрешностью $\pm 2'$. Получаемое на выходе преобразователя движений глаз напряжение подавалось на вход АЦП.

Для регистрации и обработки движений глаза была разработана программа, состоящая из ряда функциональных подпрограмм. Первая из них служила для калибровки системы. При быстрой наладке регистратора движений глаз наблюдается невозможность однозначного установления соответствия между выходным напряжением преобразователя и реальным положением глаза. Это несоответствие может происходить по трем причинам: во-первых, при больших поворотах глазного яблока возникают нелинейности (сигнал «сжимается»), во-вторых, нуль выходного напряжения не соответствует центральному положению взгляда относительно поля зрения, и, наконец, коэффициент усиления измерителя движений глаз при разных замерах может быть разным. Для устранения этих недостатков перед каждым замером проводилась калибровка. При калибровке световая точка устанавливалась в 13 разных горизон-

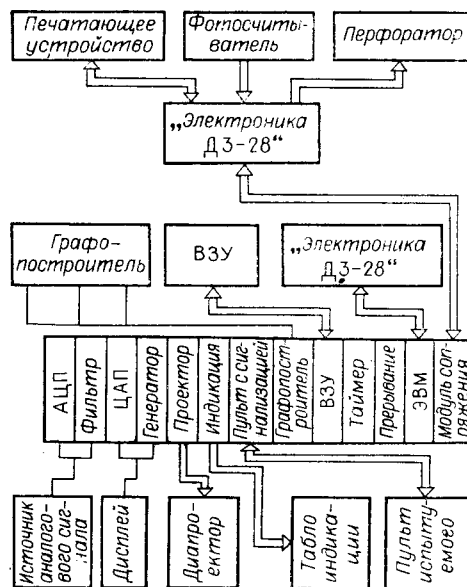


Рис. 2.

тальных положениях в поле зрения. В случае аккуратной фиксации взгляда на цели испытуемый подавал с пульта в ЭВМ сигнал прерывания, после чего в АЦП проводился замер выходного напряжения преобразователя движений глаз. Каждая точка замерялась 3—4 раза. На основании калибровочных измерений вычислялись коэффициенты α и β регрессионной функции вида

$$y = \alpha \operatorname{arctg} \{(x - 128) 10^{-2}\} + \beta,$$

где y — выходное напряжение измерителя движений глаз (измеренное с точностью до 8 бит), x — пространственное положение цели (в пределах от 0 до 255). Как правило, коэффициент корреляции был в пределах 0,991—0,998, что указывает на достаточно хорошую аппроксимацию (ошибка аппроксимации примерно 0,5—1,5%). Второй подпрограммой осуществлялась коррекция. Во-первых, проверялось наличие грубых артефактов (выбросов). Во-вторых, на основе калибровочной функции вычислялась оценка истинного положения глаз:

$$x^* = 10^2 \operatorname{tg} (y - \beta) / \alpha + 128.$$

Третья подпрограмма служила для управления поворотом зеркальца и регистрации положения взгляда. Перед экспериментом, начиная с определенного шага, на четные байты записывались коды, управляющие через ЦАП поворотом зеркальца и, следовательно, пространственным положением точки на экране. На нечетные байты принимались коды с выхода АЦП, характеризующие пространственное положение взгляда. Функция, задающая движения цели, определялась с точностью до 360 точек на один период основной функции. Видимое движение цели состояло из трех полных периодов. Следовательно, для одного замера вычисляли 1080 точек функции и делали такое же количество отсчетов положения глаз. Управление поворотом зеркальца и регистрация пространственного положения производились по следующему алгоритму:

1) выдать с определенного шага байт на ЦАП и увеличить счетчик шагов на единицу;

2) принять от АЦП байт на данный шаг машинной памяти, после чего прибавить единицу счетчику шагов.

Операции 1 и 2 повторялись до тех пор, пока содержимое счетчика шагов памяти не достигало некоторого предельного значения. Максимальная скорость повторения всего цикла составляла 1,75 мс, т. е. 570 цикл/с. Поскольку спектр следящих движений глаз не содержит в себе частот, превышающих 200 Гц, то при максимальной скорости работы возможно сохранение полной информации о движениях глаз. В опытах с помощью часов реального времени цикл выдачи-приема информации для каждого отдельного замера замедлялся до требуемой частоты колебательного движения цели. После завершения регистрации вычислялась коррекция записи траектории движения и вслед за этим средневзвешенная ошибка на определенном участке слежения (ширина «окна» 10 отсчетов) и кросс-корреляционная функция между положением цели и положением взгляда в поле зрения.

На рис. 3 представлены траектория перемещения цели (более равно-

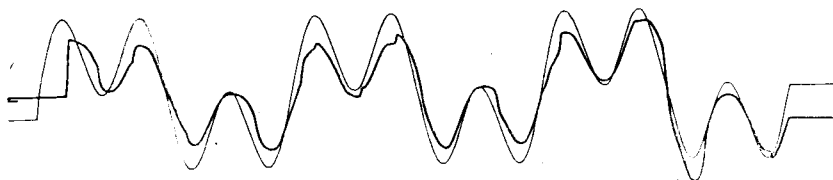


Рис. 3.

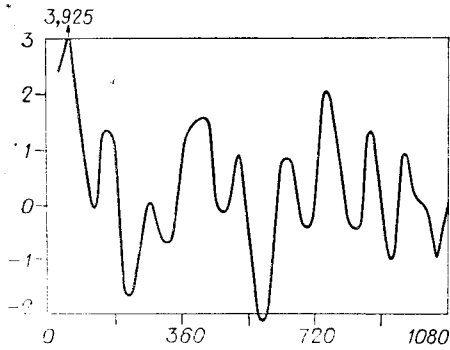


Рис. 4.

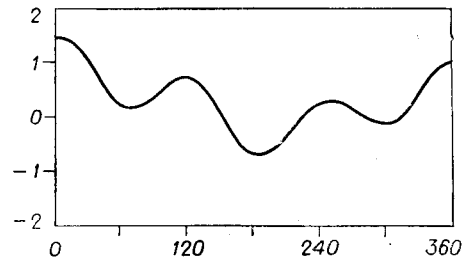


Рис. 5.

мерная функция) и наложенная на нее траектория движения глаза наблюдателя. Рисунок получен после окончания эксперимента и машинной обработки данных о траектории движения глаза. Траектории воспроизведены на графопостроителе Н306, управляемом от ЭВМ. На рис. 4 показана средняя ошибка слежения на данном участке. Положительные значения ошибки означают, что глаз находился правее цели, а отрицательные показывают, что взгляд наблюдателя направлен левее цели. Следует обратить внимание на то, что пиковые значения ошибок практически совпадают с пиковыми отклонениями цели от центрального положения. Закономерным является то, что средняя амплитуда движения глаз меньше, чем амплитуда перемещения цели, хотя обе приблизительно совпадают по фазе. На рис. 5 представлена кросс-корреляционная функция между траекториями движения цели и глаза. Характерным является периодическое чередование максимумов и минимумов через каждые 60° . Наблюдается сдвиг по фазе на 5° , характеризующий запаздывание глаза относительно цели. Максимум при 125° составляет лишь 75% от максимума на $0-5^\circ$. Это означает, что слежение за компонентом $3f$ с частотой 1,44 Гц составляет по эффективности лишь 75% от эффективности слежения за основной частотой $f = 0,48$ Гц. Проведенный эксперимент позволяет сделать следующие выводы:

- 1) функция ошибок зрительного слежения имеет периодически повторяющуюся структуру с максимальными ошибками через каждые 60° в области максимально латерального отклонения цели;
- 2) при превышении определенной скорости движения цели движение глаз начинает упускать более высокие гармонические составляющие движения цели, успевая следить только за основной составляющей.

Заключение. Особенности, которыми обладает психологический эксперимент, делают автоматизацию в этой сфере научных и прикладных исследований особенно перспективной. В настоящее время требуется объединение усилий психологов разных учреждений и специалистов, работающих над проблемами автоматизации экспериментальных исследований в смежных отраслях науки, чтобы наметить перспективы разработки аппаратуры для психологических исследований с единых позиций и с необходимой перспективой. Наш опыт разработки и применения модульной системы автоматизации эксперимента на базе ЭВМ с относительно скромными возможностями позволяет предполагать, что будущее автоматизированной психологической лаборатории определяется использованием аппаратуры, построенной по магистрально-модульному принципу и управляемой микро- или мини-ЭВМ. Разработанная нами недорогая система автоматизации психологических экспериментов является достаточно универсальной и предоставляет возможность решать довольно широкий круг задач экспериментального исследования в психоло-

гии и психофизиологии. Проводимые на базе этой системы исследования по проблемам когнитивной психологии позволяют повышать культуру экспериментирования, получать более достоверные результаты и сокращать время пребывания испытуемых в эксперименте. Автоматизированный эксперимент дает возможность исследовать сложные акты человеческой деятельности, которые без автоматизации были нам недоступны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aaronson D., Grupsmith E., Aaronson M. The Impact of Computers on Cognitive Psychology.— Behavior Research Methods and Instrumentation, 1976, vol. 8, N 2.
2. Sidowski J. B. On Line Instrumentation in Psychology: Dildo or the Real Thing? — Ibid.
3. Uttal W. R. Real Time Computers: Technique and Application in the Psychological Sciences. N. Y.: Harper and Row, 1968.
4. КАМАК-системы автоматизации в экспериментальной биологии и медицине/Под ред. Ю. Е. Нестерихина. Новосибирск: Наука, 1979.
5. Куценко А. В., Полосьянц Б. А., Ступин Ю. В. Мини-ЭВМ в экспериментальной физике. М.: Атомиздат, 1975.
6. Фресс П., Пиаже Ж. Экспериментальная психология. Вып. 3. М.: Прогресс, 1970.
7. Young L. R., Sheena D. Survey of Eye Movement Recording Methods.— Behavior Research Methods and Instrumentation, 1975, vol. 7, N 5.
8. Теоретические и практические вопросы автоматизации психологического эксперимента. Тарту: изд. ТГУ, 1980.
9. Бауманн В., Куртц П., Науманн Г. Стандартные интерфейсы для цифровых измерительных систем. М.: Мир, 1977.
10. Никитюк Н. М. Программно-управляемые блоки в стандарте КАМАК. М.: Энергия, 1977.
11. Соколов А. Я., Страшун Ю. П. Основные направления развития устройств связи с объектом. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1977. (Обзор. информ. ТС-2).
12. Хрущев и др. Измерительно-вычислительные комплексы для научных исследований. М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1980. (Обзор. информ. ТС-2).
13. Выставкин А. Н. и др. Проблемно-ориентированные измерительно-вычислительные комплексы на базе ЭВМ СМ-3, СМ-4 и аппаратуры КАМАК для автоматизации научных исследований.— Автометрия, 1980, № 3.
14. Хазаанов Б. И. Интерфейсы измерительных систем. М.: Энергия, 1979.
15. Крицюнас К. С., Лаурутис В. П. Взаимоиндуктивный измеритель микро- и макродвижений глаз.— Вестник Моск. ун-та. Сер. XIV. Психология, 1977, вып. 4.
16. Лаурутис В. П. и др. Развитие электромагнитной методики регистрации движений глаз человека.— В кн.: Учен. записки Тартуского гос. ун-та. Вып. 429. Труды по психологии. Тарту, 1977, вып. 6.
17. Луук А. Г. и др. Контактное кольцо для регистрации поворотов глазного яблока.— Физиология человека, 1980, т. 6, № 1.

Поступила в редакцию 10 ноября 1980 г.