

## ЛИТЕРАТУРА

1. Современные методы проектирования систем автоматического управления (под редакцией акад. Б. Н. Петрова). М., «Машиностроение», 1967.
2. Окунев Ю. Б. Системы связи, инвариантные к помехам. Радиотехника, № 8, 1971.
3. Уланов Г. М. Статистические и информационные вопросы управления по возмущению, М., «Энергия», 1970.
4. Виттих В. А. Заездный А. М. Сжатие измерительной информации на основе использования ее структурных свойств. Известия ВУЗов, раздел «Приборостроение», том XIV, № 8, 1971.
5. Виттих В. А., Гинзбург А. Н. Некоторые общие вопросы теории сокращенного представления измерительных сигналов. Автометрия, № 3, 1968.
6. Солодовников В. В., Семенов В. В. Синтез и оценка точности фильтров, самоанстраивающихся по входному сигналу. Сборник «Автоматическое управление и вычислительная техника», вып. 9, М., изд-во «Машиностроение», 1968.

Н. И. Вихров, А. А. Немой, О. Г. Чумаченко

### СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА БАЗЕ ЭЦВМ М-220

При медико-биологических исследованиях обычно регистрируется большое количество информации в виде зависимостей напряжения от времени, оперативная обработка которых возможна лишь с использованием ЭЦВМ. Обрабатываемые сигналы могут быть как детерминированными, так и случайными процессами. Некоторые процессы являются периодическими функциями времени (кардиосигналы, пневмограммы и др.). Алгоритмы обработки кривых обычно включают в себя выделение информативных показателей и их статистическую обработку, корреляционный и спектральный анализ, классификацию кривых. Успешное применение ЭЦВМ для обработки аналоговых сигналов невозможно без автоматизации процесса ввода регистрируемых сигналов в машину и выдачи результатов в наглядной форме. В настоящей работе рассматривается система автоматической обработки аналоговых сигналов на базе ЭЦВМ М-220.

Общая блок-схема системы представлена на рис. 1. В данной системе универсальная ЭЦВМ М-220 включена в аналого-цифровой комплекс АЦЭМС-1, который осуществляет сопряжение вычислительной машины с выходами усилителей биосигналов или выходами магнитных регистраторов. Преобразование информации из аналоговой формы в цифровую и обратно производится преобразователями типа УП-3. В основу схемы аналого-цифрового преобразования положен способ следящего кодирования, а цифро-аналогового — схема суммирования весовых

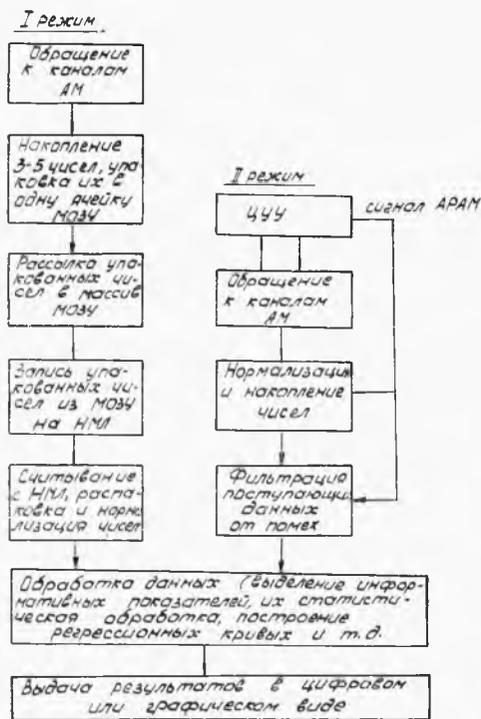


Рис 1. Блок-схема системы автоматической обработки аналоговой информации на базе ЭЦВМ М-220 и комплекса АЦЭМС-1

ходы магнитных регистраторов, на которые производится предварительная запись аналоговой информации. Выходы усилителей биосигналов и магнитных регистраторов соединены с определенными выходами на коммутационном поле ЦУУ. Так как выходное напряжение унифицированных усилителей составляет  $0 \div 6$  в, то перед преобразованием производится усиление сигналов до шкалы  $0 \div 50$  в.

На магнитные регистраторы типа РМ-09 или SDR-41 могут одновременно записываться по трем дорожкам аналоговые сигналы, а по четвертой — служебные отметки (отметки начала записи, конца записи и т. д.). В регистраторах используется шестимиллиметровая ферромагнитная лента. Номинальная скорость движения ленты составляет  $19$  см/сек, полоса пропускания  $0-1000$  гц, а уровень помех не более  $45$  дб. Перед вводом в ЭЦВМ записи предварительно просматриваются на экране осциллографа для выбора участков кривых для автоматической обработки. Пуск и останов магнитофона осуществляется разовой командой, подаваемой из ЭЦВМ М-220 программным спосо-

токов. Функции диспетчера, координирующего работу ЭЦВМ и преобразователей, выполняет центральное устройство управления (ЦУУ) комплекса АЦЭМС-1. ЦУУ имеет пятнадцать входных каналов, каждый из которых соединен со своим аналого-цифровым преобразователем, и пятнадцать выходных каналов с преобразователями цифра-аналог. Связь преобразователей с машиной осуществляется по каналу АМ, используемому обычно для работы ЭЦВМ с аналоговой машиной [1]. Диапазон изменения входного и выходного напряжения для преобразователей составляет  $\pm 50$  в. В качестве внешних источников информации в системе используются выходы усилителей аналоговых сигналов регистрирующей аппаратуры или вы-

бом. Процесс аналого-цифрового преобразования и автоматического ввода данных в ЭЦВМ протекает в реальном масштабе времени, т. е. в темпе поступления сигналов на входы преобразователей. Полоса пропускания преобразователей составляет 0-100 гц и определяется временем преобразования аналого-код устройств УП-3.

Преобразование аналогового сигнала по существу сводится к двум операциям: измерению непрерывной величины в дискретные моменты времени (квантование по времени) и преобразование дискретных ординат в цифровую форму (квантование по уровню). Шаг квантования  $\Delta t$  по времени задается заранее с пульта ЦУУ и в процессе ввода данных остается постоянным. Величина  $\Delta t$  задается с учетом конкретной формы электрофизиологической кривой и требуемой точности измерения ее параметров. Среднеквадратичная ошибка при регистрации электрофизиологических кривых медицинской аппаратурой составляет  $\approx 3\%$ . Дискретизация не должна вносить существенных дополнительных погрешностей в аналоговый сигнал. В связи с этим можно считать допустимой среднеквадратичную ошибку, вносимую квантованием по времени, также порядка 1%. Как показывают расчеты, такая точность обеспечивается, если частота квантования сигнала по времени берется в 4÷5 раз больше верхней граничной частоты сигнала. Эта частота квантования в 2÷2,5 раза превышает частоту квантования, следующую из теории отсчетов В. А. Котельникова. В таблице 1 приведены данные по частотному диапазону медицинской аппаратуры, используемой для регистрации некоторых электрофизиологических кривых, и рекомендуемые частоты квантования сигналов.

Квантование по уровню в преобразователе УП-3 сводится к представлению 50-вольтового сигнала 12-разрядным двоичным кодом. Четыре канала из пятнадцати преобразователя УП-3 были переделаны для выдачи 7-разрядного кода, соответствующего 50 вольтам, с использованием принципа поразрядного кодирования.

Таблица 1

№ п/п.	Тип регистрируемой кривой	Нижняя граница полосы пропуск. аппарат. [гц]	Верхняя граница полосы пропуск. аппарат. [гц]	Примерная частота квантования [ордин / сек.]
1	Электрокардиограмма ЭКГ	0,2	100	400 ÷ 500
2	Сейсмокардиограмма СКГ	5	100	400 ÷ 500
3	Электроэнцефалограмма ЭЭГ	1	40	160 ÷ 200
4	Электроокулограмма ЭОГ	0,1	40	160 ÷ 200
5	Сфигмограмма СФГ	0,2	45	180 ÷ 220
6	Пневмограмма ПГ	0,1	10	40 ÷ 50

ния. Эта модернизация позволила уменьшить суммарную погрешность преобразования при вводе высокочастотных сигналов. Следует указать, что максимальная возможная частота преобразования по 12-разрядным каналам составляет  $\approx 1000 \text{ ord/сек}$ , а по 7-разрядным —  $\sim 5000 \text{ ord/сек}$ . Погрешность преобразования по уровню складывается из двух ошибок [2]:

статической ошибки, возникающей при неизменном уровне входного сигнала;

динамической ошибки, обусловленной изменением входного сигнала во время преобразования.

Статическая ошибка определяется чувствительностью (нуль-органа) схемы сравнения и разрядностью выдаваемого кода. Динамическая ошибка зависит от времени преобразования ординаты сигнала в код и скорости изменения входного сигнала. В таблице 2 приведены значения суммарных ошибок преобразования в зависимости от частоты эквивалентного входного синусоидального сигнала амплитудой 50 в.

Таблица 2

Частота эквивалентного синусоидального сигнала [гц]		5	10	50	100
Суммарная погрешность преобразования, %	12-разрядн. каналы	$\pm 0,1$			
	7-разрядн. каналы	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 2$

Из таблицы видно, что в данном случае целесообразна переделка каналов с уменьшением числа разрядов в преобразователе с 12 до 7, так как в диапазоне частот  $10 \div 100 \text{ гц}$  суммарная ошибка преобразования существенно уменьшается. Для медленных процессов надо использовать 12-разрядные каналы.

Для ввода данных в ЭЦВМ в системе используются два режима.

В первом режиме во время эксперимента производится запись данных с магнитных регистраторов или датчиков в память машины. Из аналого-цифрового преобразователя в МОЗУ поступают двоичные числа с фиксированной запятой. Диапазон представления чисел  $+0,999; \dots; -0,999$ . В ЭЦВМ производится сначала накопление чисел, после чего производится операция упаковки, т. е. в одну ячейку МОЗУ записывается по 3—5 кодов, а максимальное количество непрерывно вводимых чисел в этом случае составляет  $12 \div 20$  тыс. Затем эти числа переносятся на магнитную ленту ЭЦВМ, и новая порция данных может быть занесена в МОЗУ. На одну магнитную ленту может быть записано несколько миллионов данных. Математическая обработка информации производится после окончания сеанса регистрации и ввода (рис. 2).

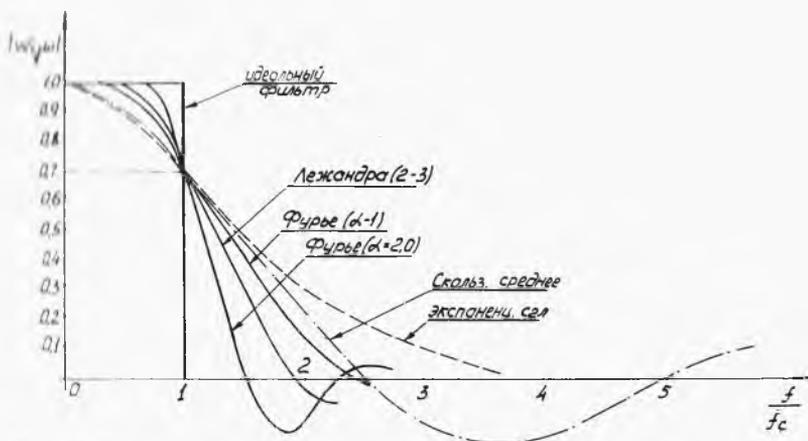


Рис. 2. Блок-схема программ автоматического ввода и обработки информации.

Во втором режиме производится одновременно ввод, нормализация и математическая обработка данных по мере их поступления. Необходимые вычисления производятся машиной в паузах между поступающими кодами. Авторазрыв программы обработки и запоминание состояния машины производится по сигналу АРАМ, поступающего из ЦУУ системы АЦЭМС.

Программы обработки данных на ЭЦВМ в общем случае включают в себя следующие операции:

фильтрацию поступающих сигналов от помех, вызванных артефактами и аппаратурными шумами;

автоматическое определение информативных показателей и их статистическую обработку;

выдачу результатов в графическом или цифровом виде.

Для устранения помех во входных сигналах в системе автоматической обработки используются различные способы цифровой фильтрации. Суть цифровой фильтрации состоит в сглаживании дискретной функции  $x_i$ , поступающей в ЭЦВМ с преобразователей аналог-код с помощью дискретной функции  $h_g$ , которую можно интерпретировать как импульсную характеристику цифрового фильтра. Сглаженное значение определяется по формуле

$$\bar{x}_i = \sum_{q=-l}^l h_g x_{i+q}, \quad (1)$$

где  $l$  — число точек, взятых для сглаживания слева и справа от точки  $i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ). Передаточная функция дискретного фильтра

может быть найдена как дискретное преобразование Лапласа от  $h_g$

$$W_k = \sum_{q=-l}^l h_q \cos\left(\frac{2\pi}{2l+1} g \cdot k\right). \quad (2)$$

где  $K = \frac{\omega_k}{\Delta\omega}$ , а  $\Delta\omega$  — шаг дискретизации по частоте в радианах. В формуле (2) отсутствует реактивная часть, которая для рассматриваемых ниже фильтров (кроме экспоненциального) равна нулю. Для экспоненциального сглаживания, являющегося математической моделью RC — цепочки, отфильтрованные значения определяются по рекуррентной формуле [3]:

$$\bar{x}_i = \alpha x_i + (1 - \alpha) \bar{x}_{i-1},$$

где  $\alpha$  — некоторый параметр  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Первые два значения для  $x_i$  определяются как  $\bar{x}_0 = 0$ ,  $\bar{x}_1 = \alpha x_1$ .

Основными параметрами, определяющими качество фильтра, являются частота среза  $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi}$  [гц] и крутизна спада его амплитудно-частотной характеристики. Частота среза зависит от числа точек  $l$ , взятых для сглаживания, и вида функции  $h_g$ . Крутизна спада определяется только видом  $h_g$ . Вид импульсной характеристики  $h_g$  зависит от метода (осреднение, аппроксимация полиномами Лежандра, рядами Фурье и т. д.) используемого для аппроксимации точек на множестве  $[-g, g]$ . Например,  $h_g$  для фильтра ряда Фурье (при использовании одного члена в разложении)

$$h_q = \frac{1 + \beta \cos\left(\frac{1\pi}{2l+1} i\right)}{2l+1},$$

где  $\beta$  — некоторый параметр, величину которого целесообразно брать в пределах  $1 < \beta < 2$ . Зная  $h_g$ , из выражения (2) можно найти амплитудно-частотную характеристику фильтра  $[W_k]$ . Графическое изображение АЧХ цифровых фильтров при использовании полиномов Лежандра, рядов Фурье (для  $\beta = 1$  и  $\beta = 2$ ), скользящего среднего и экспоненциального сглаживания, являющегося математической моделью RC — цепочки, приведены на (рис. 3). Целесообразность использования того или иного способа цифровой фильтрации обуславливается простотой вычислительного алгоритма и эффективностью фильтрующих свойств. С точки зрения простоты счета предпочтительным является использование скользящего среднего и экспоненциального сглаживания; однако, как видно из рис. 2, они имеют сравнительно низкие фильтрующие свойства. Кроме того, при экспоненциальном сглаживании имеют место фазовые сдвиги тем большие, чем длиннее реализации.

Испытатель

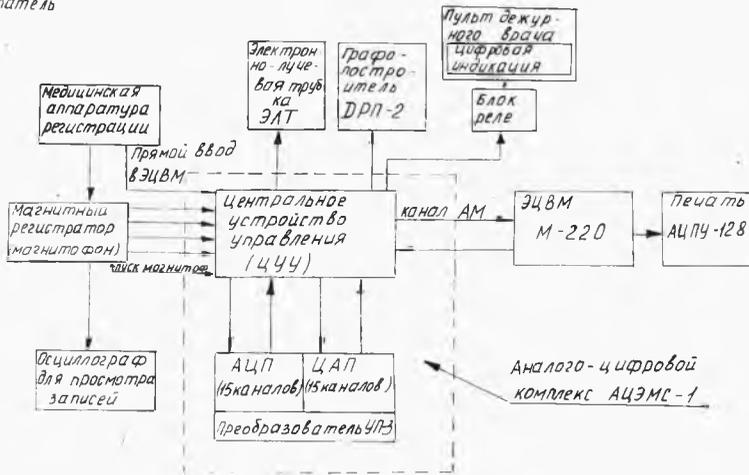


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики цифровых фильтров

Фильтры на основе полиномов Лежандра и рядов Фурье имеют близкие частотные характеристики; однако, более простой вычислительный алгоритм в последнем случае делает целесообразной реализацию цифровой фильтрации на основе рядов Фурье. Если аппроксимировать всю реализацию ( $N$  точек) рядом Фурье с  $r$  членами, то АЧХ будет иметь вид прямоугольника, а  $f_c$  зависит от числа членов  $r$ .

Определим связь частоты среза  $f_c$  с величинами  $l$ ,  $\Delta t$  и типом фильтра, который характеризуется некоторым числовым коэффициентом  $\mu$ . Эта связь может быть выражена формулой

$$f_c = \frac{l^2}{4\pi l \Delta t}.$$

Значения  $\mu$ , рассчитанные для различных типов фильтров (кроме экспоненциального), следующие:

Для скользящего среднего — 1,37; для полиномов Лежандра (2 — 3 порядка) — 3,55; для рядов Фурье при  $\beta = 1,0 — 2,25$ ; при  $\beta = 206 — 4,30$ .

Для экспоненциального фильтра частота среза и фазовый сдвиг определяются следующими приближенными формулами:

$$f_c \approx \frac{\alpha}{\Delta t (1-\alpha)}; \quad (4)$$

$$\varphi(f_k) \approx \arctg \left( 2\pi f_k \frac{1-\alpha}{\alpha} \Delta t \right).$$

Для примера рассчитаем  $f_c$  при использовании для фильтрации ЭКГ ряда Фурье ( $\beta = 1,0$ ). Пусть частота квантования ЭКГ

составляет 500 орд/сек ( $\Delta t = \frac{1}{500}$ , тогда при  $l = 1$  получим  $f_c \approx 80$  гц, а при  $l = 2$   $f_c \approx 40$  гц. Необходимая величина среза для сглаживания помех выбирается с учетом степени зашумленности кривой, которая характеризуется процентным отношением помехи к полезному сигналу.

После ввода и фильтрации данных автоматическое выделение и вычисление информативных показателей производится с помощью специальных программ расшифровки кривых. Надежность работы программ расшифровки в сильной степени обусловлена степенью зашумленности кривой, поэтому предварительная фильтрация, как правило, является обязательной процедурой. Применительно к задачам, решаемым в данной системе, были разработаны программы обработки ряда медико-технических параметров, например, определения интервалов RR, QT, QRS и амплитуд AR и AT для ЭКГ, определения величин амплитуд и длительностей циклов для пневмограммы и окулограммы, спектрального анализа для ЭЭГ, вычисление отклонения температуры среды, состава атмосферы от заданных величин.

Дальнейшая обработка выделенных информативных показателей состоит в их статистической обработке, анализе динамики изменения и т. д. Необходимо отметить, что точность машинного определения информативных параметров для ряда кривых в настоящее время несколько уступает ручному способу, однако, возможность получения большей производительности делает автоматическую обработку более перспективной.

Важное значение для автоматической обработки имеет форма выдачи результатов расчетов в наглядной форме. В данной системе имеется возможность выдачи результатов в виде таблиц в буквенно-цифровой форме в графическом или аналоговом виде. Графическое изображение результатов производится с помощью двухкоординатного графопостроителя ДРП-2. Значения ординат поступают из МОЗУ через ЦУУ на цифро-аналоговый преобразователь и затем на исполнительные следящие системы графопостроителя. Специальные программы выдачи результатов на ДРП-2 производят предварительную интерполяцию выдаваемых точек и устанавливают темп поступления ординат на ЦАП с учетом постоянных времени следящих систем графопостроителя.

Для возможности оперативного визуального наблюдения за результатами решения и обработки в САО реализована стыковка электронно-лучевого индикатора И-4м с ЭЦВМ М-220 через ЦУУ. Используются одновременно четыре канала ЦАП. По первым двум поступают переменные  $x_i$  и  $y_i$ , по двум другим каналам подаются команды развертки и синхронизации, которыми регулируется заполнение ЭЛТ и устойчивость изображения. Управление изображением осуществляется с нуля та ЭЦВМ М-220. Набирая на КЗУ соответствующие команды,

можно наблюдать как весь процесс, так и отдельные его части. Выбрав на экране интересующий отрезок кривой, можно остановить изображение и рассмотреть его крупным планом. Время выдачи одной точки из МОЗУ на ЭЛТ включает в себя следующие составляющие:

$$t_{\text{выд}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{всп}}, \quad (5)$$

где  $t_{\text{пр}} \approx 250$  мк сек, время преобразования кода в форму, необходимую для передачи в ЦАП;  $t_{\text{обр}} \approx 430$  мк сек, время обращения к ЦАП;  $t_{\text{всп}} \approx 850$  мк сек, время на вспомогательные операции.

Таким образом,  $t_{\text{выд}} \approx 1500$  мк сек. Если требуется получить на ЭЛТ график, например, из 500 точек, то время поступления ординат на ЭЛТ составит  $\sim 0,8$  сек. Так как послесвечение трубки составляет примерно 30 сек, то изображение практически будет наблюдаться непрерывным с постоянной яркостью свечения всех участков графика (выдача кривой может периодически повторяться). Специальная фотоприставка фотографирует изображение.

При решении задач автоматизированной обработки данных в системе используется библиотека стандартных программ, типовых программ расшифровки кривых и статистической обработки. Это дает возможность производить свою обработку без больших затрат времени на программирование и обработку. В настоящее время объем библиотеки стандартных и типовых программ автоматической обработки медико-технических данных составляет примерно 150 программ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ляшенко В. Ф. Программирование для цифровых вычислительных машин М-20, БЭСМ-3М, БЭСМ-4, М-220, М., 1967 г.
2. Хлистунов В. И. Основы цифровой электроизмерительной техники и цифровые преобразователи. М., 1967.
3. Романенко А. Ф., Сергеев Г. А. Вопросы прикладного анализа случайных процессов. М., 1968.

**В. Т. Добрица, В. П. Масленников, Ю. А. Шевцов**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН В СИСТЕМАХ АВТОКОНТРОЛЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Постоянно растущая сложность электромеханического и радиоэлектронного оборудования объектов различного назначения предъявляет повышенные требования к системам конт-