

УДК 681.142.4:591.18

ОПЕРАТИВНАЯ ОБРАБОТКА НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ  
ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЭЦВМ

В.А. Алексеев, Н.Н. Глушков, В.А. Львов

При проведении различных нейрофизиологических опытов возникает необходимость регистрации и обработки получаемых электрических сигналов. Для этой цели в большинстве случаев используются различные специализированные устройства [1,2,3], которые позволяют в реальном масштабе времени производить первичную обработку полученного материала. Чаще всего эти устройства решают только одну поставленную перед этим устройством задачу. При расширении круга решаемых в эксперименте задач специализированное устройство требуется перестраивать или полностью заменять. Более эффективно [4,5] можно использовать для этой цели универсальные управляющие электронные цифровые вычислительные машины (ЭЦВМ). Они могут быть удалены от экспериментальной установки на значительное расстояние. Обмен информацией с машиной осуществляется по линиям связи. Переход от решения одной задачи к другой осуществляется простой сменой программы. Обработка может проводиться в реальном масштабе времени или с предварительной регистрацией сигналов на магнитный носитель, перфоленку и просто на бумагу в виде графика (последний вариант неудобен тем, что для последующего использования требуется перекодировка графика). Наличие в управляющих ЭЦВМ устройства связи с объектом (УСО) позволяет свести к минимуму количество со-

гласующей аппаратуры для стыковки экспериментальной установки с вычислительной частью машины.

Нами в течение длительного времени использовались управляющие машины типа "Днепр" и "УМІ-ИХ" для обработки нейрофизиологических данных: импульсной активности нейронов и вызванных потенциалов (ВП). Обработка импульсной активности нейронов производилась на ЭЦВМ "Днепр". Функциональная схема комплекса, позволяющего автоматически по заданному набору программ производить ввод и статистическую обработку вызванной или спонтанной импульсной активности нейронов, представлена на рис. 1.

Электрические импульсы, соответствующие импульсной активности нейронов, зарегистрированные предварительно на магнитофонной ленте или переданные во время опыта по линии связи в ЭЦВМ, поступают на формирующее устройство, где происходит амплитудная селекция импульсов и их формирование по уровню и длительности для согласования с входным устройством машины. Уровень отсечки сигнала подбирается вручную, а контроль осуществляется по совпадению импульсов с выхода и входа формирователя на экране двухлучевого осциллографа. В формирователе имеется несколько каналов амплитудной селекции, позволяющих вводить импульсные последовательности, идущие одновременно по разным каналам от нескольких нейронов, или разделить две последовательности в одном канале, если импульсы соответствующих нейронов достаточно различаются по амплитуде. Сформированные импульсы поступают на регистр опроса дискретных датчиков, находящийся в УСО ЭЦВМ "Днепр".

В проводившихся экспериментах исследование импульсной активности нейронов заключалось в статистической обработке величин межимпульсных интервалов. Измерение величины межимпульсных интервалов производится программным путем и определяется как разность двух последовательных показаний счетчика времени в ЭЦВМ "Днепр". Показания счетчика времени считываются в моменты прихода импульсов от нейронов. В качестве датчика времени используется высокостабильный внешний генератор. Шаг квантования по времени выбран равным 100 миксек, что соответствует частоте генератора 10 кГц. Максимальная погрешность определения величины межимпульсного интервала равна длительности цикла опроса дискретного датчика плюс величина шага квантования по времени. В нашем случае погрешность при обработке



Рис.1. Функциональная схема комплекса для обработки импульсной активности нейронов.

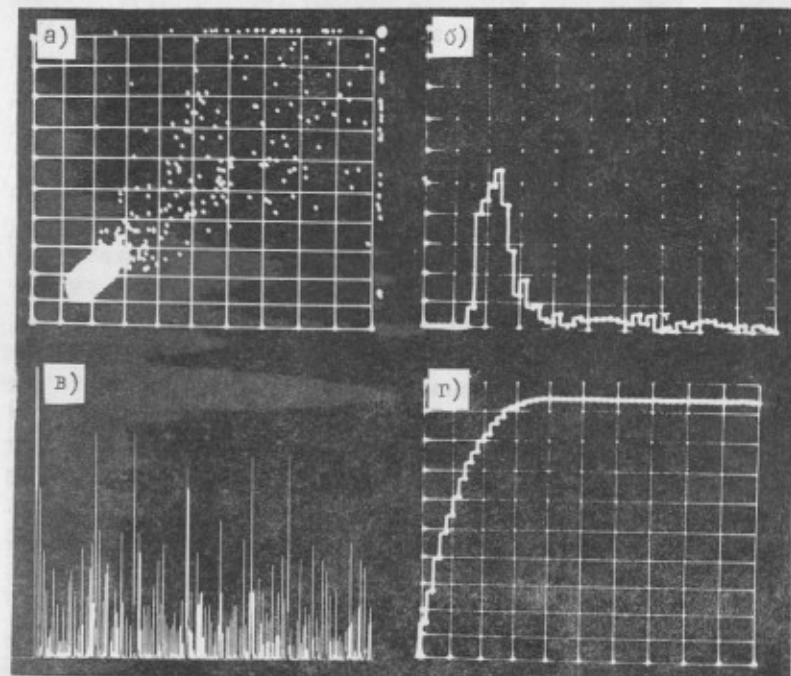


Рис.2. Примеры выдачи графических результатов: а) корреляционное поле, б) дифференциальное распределение, в) последовательность интервалов, г) интегральное распределение.

Фоновой или вызванной активности одного нейрона не превышает 160 мксек. Весь цикл ввода значения одного межимпульсного интервала занимает не более 500 мксек. При обработке импульсной последовательности, записанной на магнитофоне, может появиться погрешность за счет нестабильности работы лентопротяжного механизма. Однако все имеющиеся погрешности измерения величины межимпульсных интервалов сравнительно невелики и не оказывают существенного влияния на качество статистической обработки данных.

Вывод результатов обработки величин межимпульсных интервалов осуществляется на электронно-лучевую трубку (ЭЛТ) в виде

графика с последующим фотографированием (рис.2а,б,г); кроме того, результаты могут быть выведены на одно-или двухкоординатный самописец (рис.2в) или на печать. При необходимости использования результатов обработки многих экспериментов в обобщающих расчетах возможен вывод промежуточных результатов на перфоленту.

Наибольший интерес представляет вывод графиков на ЭЛТ. Результаты эксперимента представляются в наглядном и привычном для физиологов виде; выдача занимает мало времени, что делает возможным осуществление оперативного контроля за направлением и качеством эксперимента. Одновременно на выводимом графике может программно наноситься координатная сетка, а также необходимые надписи, указывающие номер обрабатываемого нейрона, дату проведения эксперимента, примечания и т.д.

Недостатком описанного комплекса является медленный ввод данных (производится в реальном масштабе времени), на который в нашем случае приходится 70-80% занимаемого машинного времени. Для использования имеющегося в ЭВМ "Днепр" резерва времени в режиме ввода импульсной активности, по-видимому, целесообразно разработать дополнительную аппаратуру уплотнения входной информации, что дало бы возможность одновременно вводить и обрабатывать данные от 2-3 нейронов в реальном масштабе времени.

Вторым примером успешного и эффективного применения в биологических исследованиях универсальной ЭЦВМ является решение задачи о регистрации потенциала,

вызванного в коре головного мозга в ответ на раздражение. Обычно наблюдение вызванного потенциала весьма затруднено наложением на него случайных колебаний, не относящихся к данному раздражению (рис.3а) и не синхронизированных с циклом измерения. Следовательно, установление детерминированной зависимости между раздражением и ответом представляет собой задачу о выделении полезного сигнала из канала связи в присут-

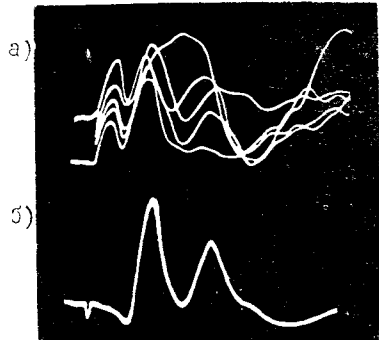


Рис.3. Вызванные потенциалы:  
а) фактические,  
б) после усреднения.

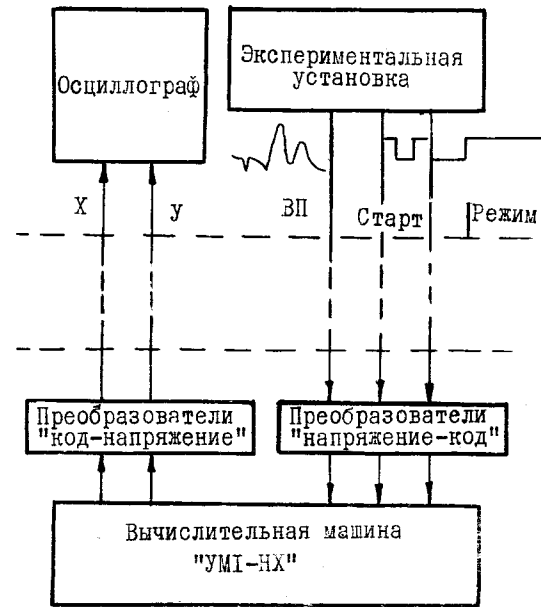


Рис.4. Функциональная схема установки для усреднения вызванных потенциалов.

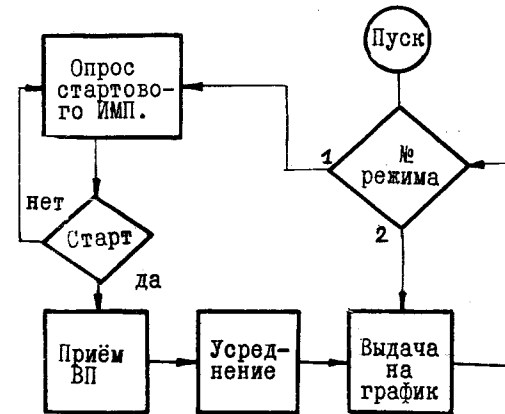


Рис.5. Алгоритм работы системы.

ствии шума. По характеру изменения сигналов на рис.3а можно сделать вывод, что спектры полезного сигнала и помехи перекрываются, поэтому частотное разделение сигналов исключается. Наиболее приемлемым методом разделения сигналов для этого случая может быть усреднение по амплитуде многократно наблюдаемых последовательностей потенциалов, синхронизированных импульсами раздражения. При этом не повторяющиеся от раздражения к раздражению шумовые составляющие вызванного потенциала в значительной мере взаимно ослабляются, а последовательность средних значений потенциала соответствует детерминированной составляющей ответа (рис.3б).

Для приема и усреднения вызванных потенциалов использована универсальная ЭЦВМ "УМИ-НХ", имеющая преобразователи "напряжение-код" (цифровой вольтметр) для приема исходной информации и преоб-

разователи "код-напряжение" для выдачи результатов в графическом виде. Связь ЭЦВМ с экспериментальной установкой осуществляется по линиям связи длиной 1,5 км. Функциональная схема установки приведена на рис.4, а алгоритм её работы - на рис.5. В зависимости от величины потенциала (0 или 5 вольт), поданного по каналу "режим" на вход ЭЦВМ машина выходит на программу "1" - приема и усреднения сигнала - или же на программу "2" - выдачи результатов обработки. В случае "1" с экспериментальной установкой синхронно с импульсом раздражения выдается импульс ("старт") на один из аналоговых входов машины. После прихода этого импульса начинается измерение амплитуды ВП в дискретные моменты времени с регистрацией результатов в оперативной памяти машины. Цикл измерения и регистрации каждой точки составляет 1,3 мсек, количество регистрируемых точек  $K=120$ . Эти параметры определяются быстродействием и объемом оперативной памяти ЭЦВМ "УМ1-НХ". Таким образом, по окончании измерений в оперативной памяти имеется массив из 120 принятых чисел, подлежащих усреднению. В оперативной памяти хранится еще один массив из 120 чисел, представляющий собой результат усреднения ранее зарегистрированных потенциалов. После приема каждого следующего массива производится очередное усреднение обоих массивов по точкам с использованием рекуррентной формулы:

$$\bar{y}_{ki} = \frac{y_{ki} - \bar{y}_{k(i-1)} + \bar{y}_{k(i-1)}}{i}$$

где  $i$  - количество принятых массивов,  $k$  - порядковый номер измеренной точки в массиве;

$\bar{y}_{ki}$  - среднее значение  $y_k$  за  $i$  усреднений;

$\bar{y}_{k(i-1)}$  - то же за  $(i-1)$  предыдущих усреднений;

$y_{ki}$  - соответствующая  $k$ -я точка  $i$ -го зарегистрированного массива.

В результате после приема  $i$  массивов в памяти хранится массив, соответствующий усредненной по  $i$  опросам последовательности  $k$  точек, вызванных потенциалов. Эта последовательность через выходные преобразователи "код-напряжение" в любом масштабе времени (рис.3б) выдается на вход "У" устройств визуального контроля или графикопостроителей, при этом по каналу "У" выдается импульс запуска и формируется пилообразное напряжение развертки.

Опыт оперативной обработки нейрофизиологических данных показал целесообразность развития направления по автоматизации биологических экспериментов с использованием управляющих цифровых вычислительных машин.

## Л и т е р а т у р а

1. B.DELISLE BURNS, W.FERCH and G.MANDLE. A neurophysiological computer. Electronic Engineering, vol.37, No.44, January 1965, pp.20-24.
2. F.F. HILTER, C.T. PARDOS. A correlator of time intervals between pulses. - IEEE Trans. Bio Med. Eng., 1965, vol. 12, N 2, p.113-120.
3. W.R.LEVICK. Modification of a 256-channel scaler for neurophysiological time analyses. - Rev. Sci.Instr., 1962, vol.33, p.660-669.
4. W.R. ADEY. Computer application at the frontiers of biomedical research. Proc.-fall Joint Computer conf., 1963.
5. Э.В. ЕВРЕЙНОВ, Ю.Г. КОСАРЕВ. О системах автоматизации научных экспериментов для разработки вычислительных систем. - Вычислительные системы, Новосибирск, 1963, № 8, стр. 3-10.

Поступила в редакцию  
17 октября 1968г.