

48461

A-646

3/1-7

5288/2-76

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



10 - 9889

А.Х.Ангелов

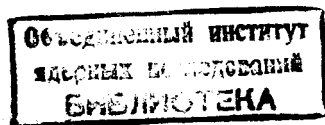
О ПРИМЕНЕНИИ ЭВМ  
НА УСКОРИТЕЛЯХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
В ЦЕРН'е ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ  
(Обзор)

**1976**

10 - 9889

А.Х.Ангелов

О ПРИМЕНЕНИИ ЭВМ  
НА УСКОРИТЕЛЯХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
В ЦЕРН'е ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ  
(Обзор)



## **§1. Некоторые характеристики структур управляющих систем**

Пути создания систем управления и контроля ускорителями заряженных частиц при помощи ЭВМ в ЦЕРНе определялись развитием электронно-вычислительной и ускорительной техники <sup>/1,2/</sup>. Протонный синхротрон /ПС/ оснащался ЭВМ функциональным путем, т.е. система управления с помощью ЭВМ подключалась к уже работающему ускорителю <sup>/1,2/</sup>. Возросшая надежность электронно-вычислительной техники третьего поколения сделала возможным инициативный путь создания автоматизированной системы управления 400 ГэВ протонным суперсинхротроном /СПС/. Проектирование и реализация системы управления СПС происходит параллельно с проектированием и реализацией ускорительной установки <sup>/1,3/</sup>.

### **1. Автоматизированная система управления протонного синхротрона /АСУ ПС/**

Структура АСУ ПС представляет определенный интерес с точки зрения ее развития. Сначала в системе работала одна ЭВМ IBM-1800<sup>/4/</sup>, потом была добавлена мини-ЭВМ VARIAN-620/i<sup>/5/</sup>. Блок-схема структуры системы показана на *рис. 1*. Позже, вследствие развития ускорительного комплекса /старый и новый LINAC, бустер и ПС/ была подключена новая подсистема, состоящая из трех РДР-11/45. Связь между основными и вспомогательными ЭВМ и системой передачи данных осуществля-

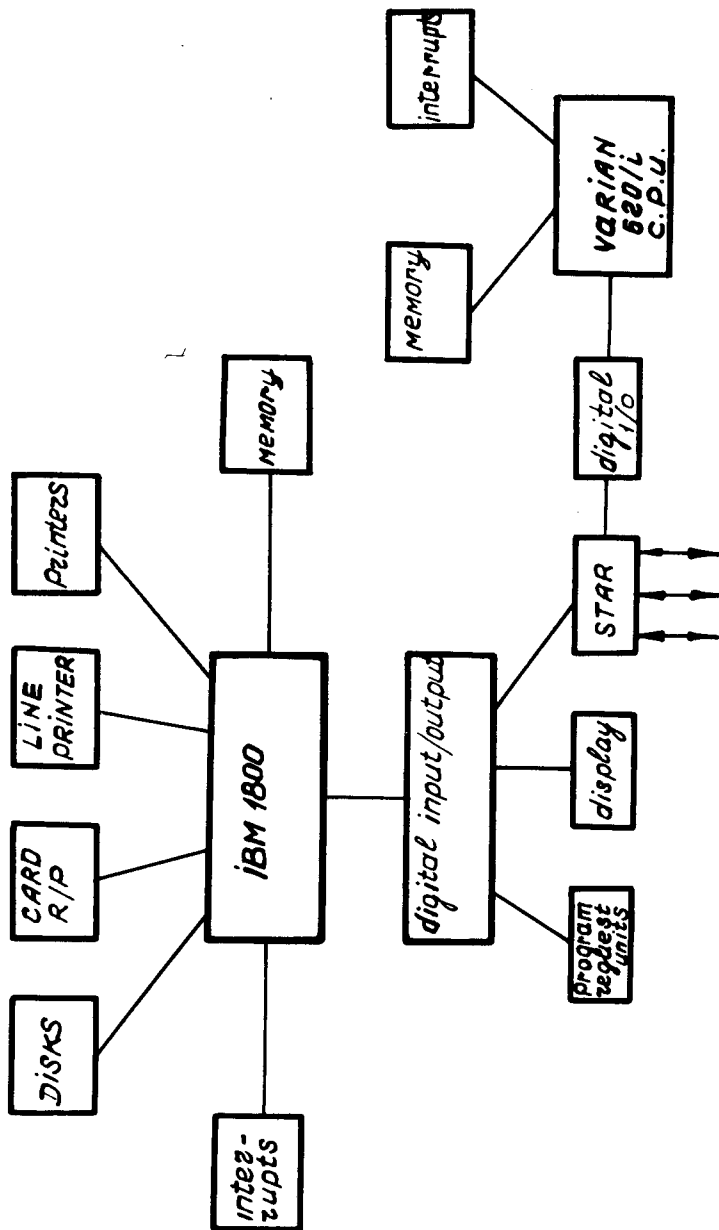


Рис. 1

ется системой BIDUL ("Bus d'Intercominication Dirigees entre Unite' en Linges")<sup>/6/</sup>.

Система автоматизированного управления и контроля ПС выполняет множество функций<sup>/1,2/</sup>. В качестве примера наиболее интересно рассмотреть способ модуляции значений некоторых параметров цикла ускорения. Необходимая модуляция может быть функцией времени или независимой переменной, связанной с процессом. В обоих случаях должна обеспечиваться возможность изменения функции в целях исследования и оптимизации параметров ускорения. Для решения этой задачи применяется генератор функции с управлением от ЭВМ (function generator)<sup>/7/</sup>. Это устройство генерирует напряжение  $V$ , являющееся линейной функцией переменной  $x$ . Оно должно выполнять условие аппроксимации:

$$k \cdot F(x) - V(x) \leq \epsilon,$$

где  $F$  - требуемая функция,  $\epsilon$  - максимальная допустимая ошибка,  $k$  - масштабный коэффициент.

Если:  $V(x) = V_n + a_n(x - x_n)$ , условие аппроксимации выполняется при определенном выборе интервалов  $[x_n, x_{n+1}]$  для всего диапазона изменения  $x$  /  $a_n$  - масштабный коэффициент/.

На основании информации о  $V_n$ ,  $a_n$  и  $(x_{n+1} - x_n)$ , поступающей из ЭВМ, выходной каскад устройства генерирует линейные сегменты функции  $V(x)$ . ЭВМ VARIAN-620/i (4K) работает в реальном масштабе времени и обеспечивает информацией 48 выходных каскадов. Функцию  $V(x)$  можно изменять при помощи специального пульта. Скорость ее изменения определяется в основном программным обеспечением.

## 2. АСУ ПНК / пересекающиеся накопительные кольца/

Связь ускоритель - ЭВМ в настоящее время реализуется в основном на аппаратуре в стандарте КАМАК. Успешное применение аппаратурной части АСУ ускорителем в этом стандарте можно продемонстрировать на примере АСУ ПНК в ЦЕРНе<sup>/8/</sup>.

Начало применения аппаратуры в стандарте КАМАК на ПНК относится к 1971 году. С 1972 по 1974 г.г. использовалась семикрейтная система параллельного КАМАКа (EUR 4600) с управлением от ЭВМ типа Argus-500. Эти крейты заполнены модулями одиннадцати типов, при их общем количестве 134. На модулях построено 40 подсистем, выполняющих функции измерения протонного пучка, управления и контроля протон-протонных столкновений, управления В.Ч., управления магнитного поля, обеспечения линий связи и ЭВМ-интерфейсов, управления устройством "beam scraper" /9/ и др.

Дополнение к этой подсистеме сделано в период 1973-1975 г.г. Независимая ЭВМ типа РДР-11 с пятью крейтами аппаратуры в стандарте КАМАК управляет дополнительной линией транспортировки протонного пучка. До 1979 года предполагается закончить многомагистральную систему КАМАК с четырьмя драйверами ветви (EUR 4600). К концу 1976 года будут установлены первые крейты последовательного КАМАКа.

### 3. АСУ СПС

При конструировании системы управления СПС была выбрана многомашинная структура. Используются 26 ЭВМ типа NORD-10. Блок-схема структуры управляющей системы показана на рис. 2. Некоторые ЭВМ выполняют специфические функции, роль других - в основном управление и обзорные исследования /1,3/.

ЭВМ NORD-10 имеет следующие основные характеристики: длина слова - 16 разрядов, емкость ОЗУ - 8 ÷ 64 К, полностью разделенные системы внутренних и внешних шин, 16 аппаратурных уровней прерывания.

Для связи ЭВМ - ускоритель /СПС/ используется аппаратура в стандарте КАМАК в качестве первичного интерфейса ЭВМ. В некоторых случаях, например для получения данных о пучке, датчики непосредственно подсоединяются к модулям КАМАК, но большинство подсоединений оборудования сделано через специальную мультиплексную систему - МРХ /1/ /рис. 3/. В дальнейшем

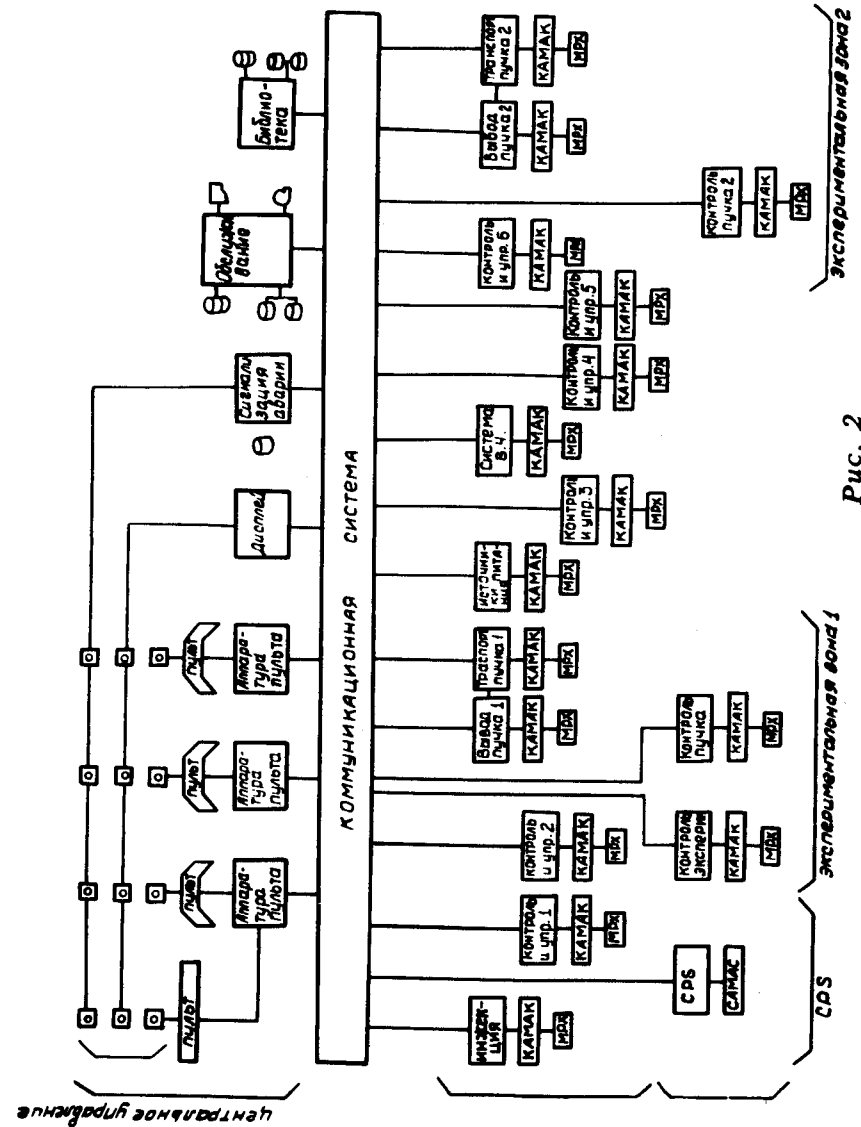


Рис. 2

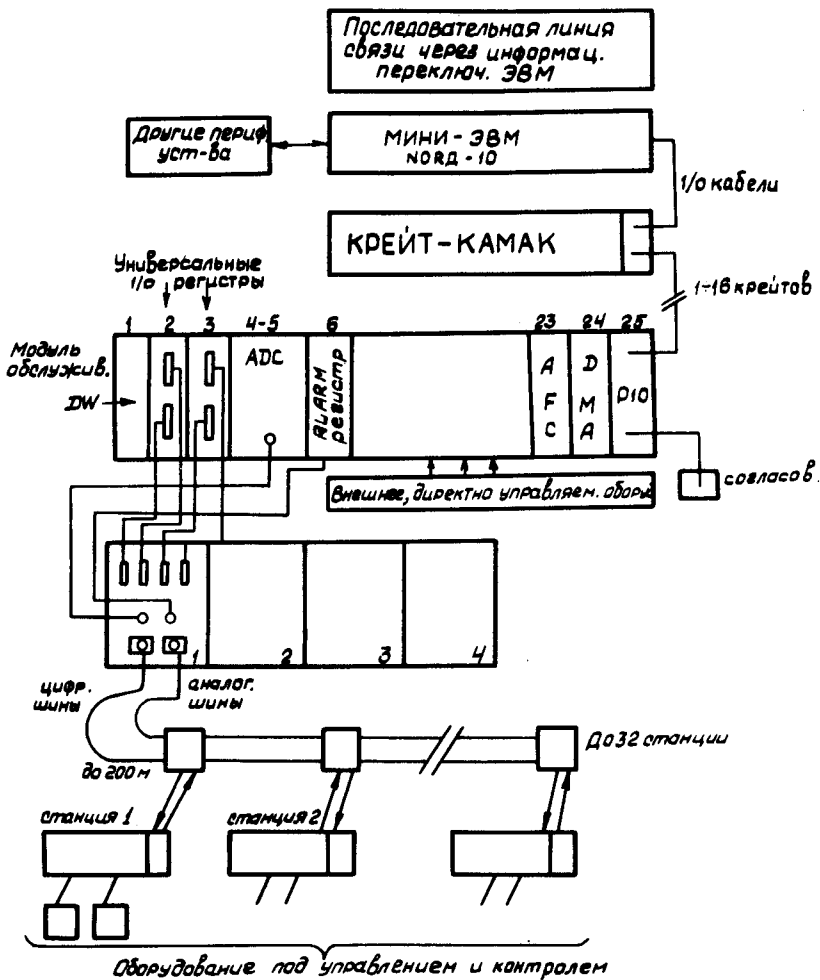


Рис. 3.

предполагается применение последовательного КАМАКа и автономных крейт-контроллеров с микропроцессорами /18/.

Система коммуникации имеет последовательную линию связи и высокоскоростную линию связи порядка 1,5 М слов в секунду.

### § II. Путь развития подсистем отображения информации

АСУ ускорителями отличаются от АСУ другими объектами особыми требованиями, обусловленными участием человека в управлении из-за большой ширины диапазона решаемых задач - инженерных и физических. Чем больше степень автоматизации системы управления, тем выше роль оператора, так как круг решаемых задач расширяется и возникающая при этом необходимость в большей интеграции наилучшим образом осуществляется человеком-оператором /10/.

Для создания высокоэффективной системы отображения информации /СОИ/ используются как стандартные периферийные устройства ЭВМ /телетайп, разные виды дисплеев, перфораторы, графопостроители и т.д./, так и специальные виды аппаратуры ввода-вывода.

Начало развития общения между оператором и управляющей системой на ускорительных установках ЦЕРНа характеризуется применением "вездесущего" телетайпа. Учитывалось, что некоторые недостатки этого вводно-выводного устройства компенсируются его универсальностью. Позже начали создавать специализированные эффективные устройства для связи оператора с системой управления, оформляемые в виде пультов.

Описываемый в /11/ перемещаемый пульт предназначен для контроля и управления аппаратурой ПС бустера. При помощи этого пульта оператор, находясь в экспериментальном зале, взаимодействует с центральной ЭВМ, которая управляет всеми процессами бустера. Пульт может быть подключен к разным контрольным точкам при помощи восьмиметрового кабеля. Обеспечивается

обслуживание всей аппаратуры так, как это делается с центрального пульта.

Перемещаемый пульт смонтирован на осциллографной тележке и имеет алфавитно-цифровой и графический дисплей, клавиатуру и три ряда кнопок для вызова программ. Кроме этого, имеются четыре преобразователя "угол-код", которые могут управлять каждым из семисот параметров бустера при помощи специальной программы. Пульт подключается к центральному пульту через 400-метровый 28-проводный кабель.

Пультуемая ПС-бустера оборудована аппаратурой такого же типа<sup>/12/</sup>. При помощи пульта оператор осуществляет управление процессами инъекции и транспортировки пучка, управляя работой ЭВМ IBM1800, к которой подсоединены вспомогательные ЭВМ, вырабатывающие все времязависимые функции.

На передней панели пульта /размеры 60 x 100 см/ расположены алфавитно-цифровой дисплей, управляющая секция и секция выбора.

Управляющая секция оборудована двумя комплектами градуированных кнопок для воздействия:

+1000, +100, +10, +1, -1000, -100, -10, -1.

Секция для выбора заполнена кнопками. Число этих кнопок определялось числом параметров, которыми нужно управлять и контролировать. Нажатием на кнопку оператор подает команду включения программы управления определенным параметром. На дисплейном экране появляются код параметра и значение минимального приращения, которое можно задавать с управляющей секции. Если во время изменения превышены границы допустимого воздействия или не последовало выполнения команды, или команда невыполнима, на экране дисплея появляется поясняющая информация. Оператор имеет в своем распоряжении кнопки "save and back" и "restore preserved" для осуществления возврата к предыдущим условиям, если появились какие-то сомнения по поводу уже исполненных действий. Одновременно можно управлять двумя разными параметрами из общего числа параметров 256.

Для ПС сконструирован центральный пульт, при помощи которого оператор может следить за сложными

процессами во время ускорения и довольно просто управлять ими<sup>/13/</sup>. Основные функции этого пульта:

а/ подключение аналоговых сигналов к осциллографам или к дисплею;

б/ представление параметров ускорителя в графической или цифровой форме на дисплейном экране;

в/ управление параметрами при помощи клавиатуры, преобразователей "угол-код" и специальной управляющей панели.

Накопленный при конструировании перечисленных пультов опыт позволил создать исключительно удобную и мощную подсистему для отображения информации, с которой оперирует система СПС<sup>/14/</sup>.

Пультуемая СПС оборудована тремя идентичными пультами, каждый из которых предоставляет оператору возможность полностью управлять ускорителем. К каждому пульту подключена ЭВМ, так что можно было свести действия оператора к минимуму. Мониторные и руководящие функции реализуются главным образом через управление обменом информацией между ЭВМ системы.

Пульты оборудованы цветными TV-мониторами. Генераторы картин подсоединяются к ним через видеосмесительный комплекс регулируемых усилителей. Общность дисплейных устройств определяет общность программного обеспечения и увеличивает надежность аппаратного обеспечения благодаря возможности дублирования.

Для проведения экспериментов по технике ускорителя и во время его эксплуатации используются следующие устройства:

а/ Программируемая переключающаяся панель с переключением при прикосновении<sup>/16/</sup>. Описываемая панель является развитым вариантом секции выбора уже описанных пультов. В данном случае программное обеспечение "скрывает" сотни неиспользуемых кнопок, ограничивая их количество до 16 /рис. 4/. Принцип работы переключения - регистрирование изменения электрической емкости при касании определенных участков панели пальцем, что проще и надежнее по сравнению с механическими переключателями. Учитывая требования инженерной психологии, конструкторы предусмотрели звуковую индикацию /щелчок/ для индикации момента срабатывания,

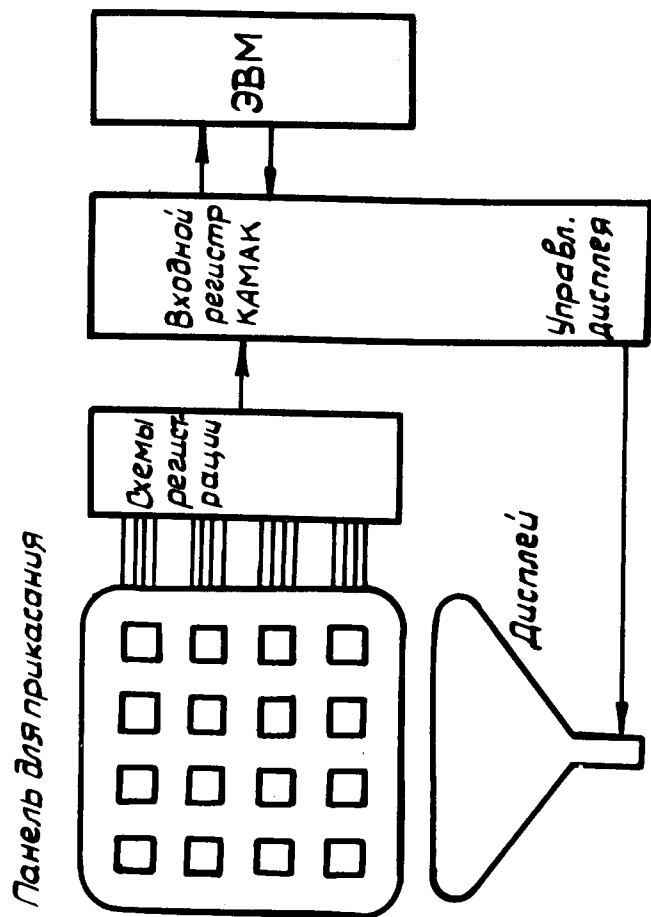


Рис. 4.

б/ Индикатор-задатчик с управлением от машины /15/ - в конструкции ранее описанных пультов применялись в качестве задатчиков обычные преобразователи "угол-код". На пультах СПС применяются специализированные устройства - индикаторы-задатчики, выполняющие функции ввода-вывода информации. Подсоединение к ЭВМ выполнено по схеме, показанной на рис. 5. Как вводное, устройство имеет обратную связь с оператором - сопротивление к вращению, изменяемое от нуля до полного останова, в зависимости от условий ввода. При соответствующем программном определении описываемое устройство используется еще в двух режимах: вводное дискретное устройство /вращаемый 16-позиционный переключатель/ и пружинно-возвращаемый в ноль индикатор.

### § III. Программное обеспечение

Программное обеспечение АСУ ускорителями характеризуется некоторыми особенностями /1/:

- а/ возможность развития;
- б/ гибкость;
- в/ возможность выявления ошибок.

Решающее значение для удовлетворения запросов имеет математическое обеспечение, создаваемое специально для АСУ /1/.

Применение высокоразвитого языка типа FORTRAN или COBAL ограничивает возможности дополнительного редактирования, сводит "разговор" оператора с ЭВМ до уровня "вопросы-ответы" и требует большого объема оперативной памяти.

Применение интерпретирующего языка программирования допускает изменение очередности действий, а простое действие осуществимо без дополнительных программ. Медленность выполнения незначительна, потому что быстрые части программного обеспечения могут быть написаны на ассемблере и вызываются интерпретатором.



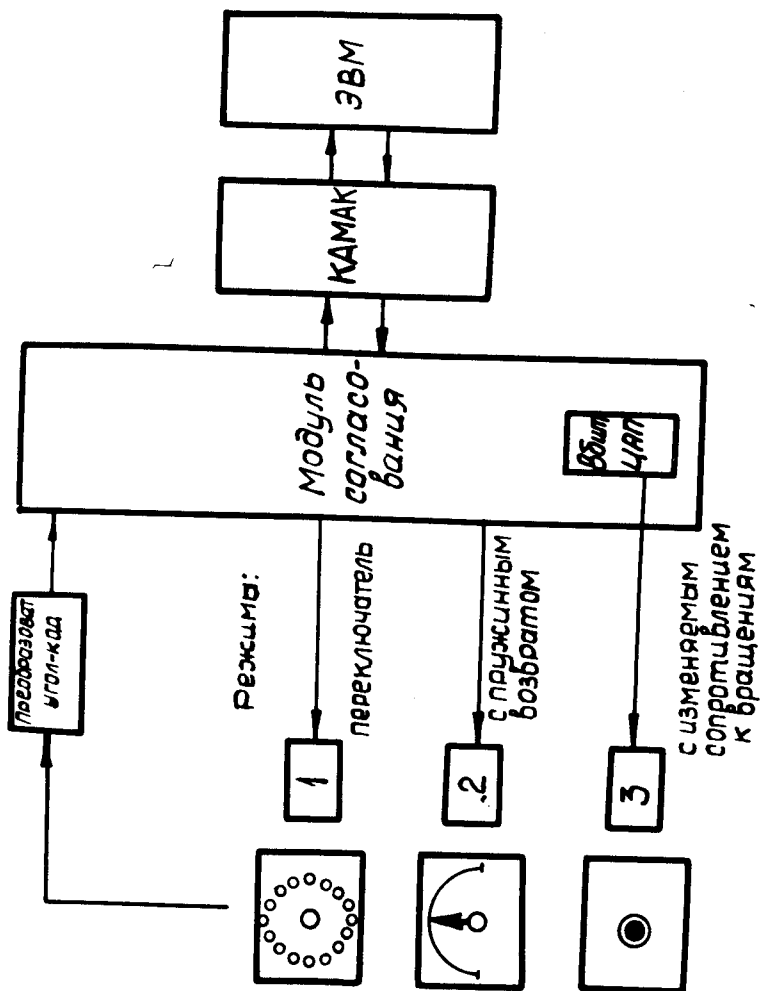


Рис. 5.

Системы управления ПНК и ПС - ЦЕРН, хотя и в ограниченной степени, используют в своем математическом обеспечении интерпретирующие системы, например ISAAC - (Interpretive System for Automated Accelerator Control)<sup>/13/</sup>.

Интерпретирующий язык NODAL<sup>/3,17/</sup> обеспечивает параметрическую и функциональную универсальность математического обеспечения АСУ СПС. NODAL применяет все необходимые команды работающего в реальном масштабе времени компилятора SINTRAN II из математического обеспечения ЭВМ "NORD-10", так что программу, написанную на NODAL'e, можно выполнять on-line.

Простыми командами NODAL'a оператор имеет возможность задавать значения параметрам двумя способами:

а/ однократно: SET MBV(2) = 154.

Команда устанавливает ток электромагнита BV(2) равным 154 А.

б/ программно:

```

1.1 FOR INJPHS = 1,15; DO 2
1.2 END
2.1 TYPE INJPHS
2.2 TYPE BCT (4)!

```

В результате выполнения этой программы печатаются 15 значений измеренного токовым трансформатором №4 в зависимости от фазы инжекции.

#### Выводы

1. Современные АСУ ускорителями ЦЕРНа обеспечивают комплексное управление и контроль ускорителем.
2. Системы с функциональным и территориальным принципами разделения предпочтительнее в связи с развитием электронно-вычислительной управляющей техники.
3. Связь ЭВМ-ускоритель реализуется исключительно на аппаратуре в стандарте КАМАК.

4. Связь оператор-АСУ осуществляется при помощи специального математического и аппаратного обеспечения, что обусловлено научно-исследовательским характером физических и инженерных задач, предъявляемых оператору большинством ускорительных установок.

#### *Литература*

1. M.C.Crowley-Milling. Computer Control Applied to Accelerators. CERN 74-9, Vol. 1.
2. R.Keyser. The Use of Computers for Accelerator Control. Труды III Вс. сов. по уск. заряж. частиц, М., Наука, 1973.
3. F.Beck. The Computer Control System for the SPS. ОИЯИ, Д10,11-8450, Дубна, 1974.
4. CERN 74-9, Vol. 2, X 12.
5. D.R.Machen, L.R.Biswell. IEEE Trans. Nucl.Sci., 18, 1971 No. 3.
6. CERN 74-9, Vol. 2, D 12.
7. CERN 74-9, Vol. 2, D14.
8. H.Verelst, M.Vighes, P.Wolstenholme. VI. 3-2. Proc. of the Sec. Intern. Symp. on CAMAC in Computer Applications. Brussels, 14-16 October, 1975.
9. CERN 74-9, Vol. 2, B 12.
10. IEEE Trans. Nucl. Sci., 18, 1971, No.3. The Papers to Conf. Accelerator Engineering and Technology, Chicago, 1971.
11. CERN 74-9, Vol. 2, B 19.
12. CERN Courier No. 11, Vol. 11, 1971, p.p. 325-326.
13. CERN 74-9, Vol. 2, D 13.
14. F.Beck. The Control Center for the SPS. ОИЯИ, Д10,11-8450, Дубна, 1974.
15. CERN 74-9, Vol. 2, D 25.
16. CERN 74-9, Vol. 2, D 26.

17. CERN 74-9, Vol. 2, D 24.
18. M.Collins, C.Guillaume, R.Rausch. II.2-2, Proc. of the Sec. Intern. Symp. on CAMAC in Computer Application, Brussels, 14-16 October, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 июня 1976 года.