

Ц 8481

Ф-459

1353/2-76

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



12/11

9 - 9422

Б.В.Фефилов, А.М.Сухов

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА
СБОРА ИНФОРМАЦИИ
О ПАРАМЕТРАХ ТАНДЕМ-УСКОРИТЕЛЯ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

1975

9 - 9422

Б.В.Фефилов, А.М.Сухов

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА
СБОРА ИНФОРМАЦИИ
О ПАРАМЕТРАХ ТАНДЕМ-УСКОРИТЕЛЯ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ**

Институт физики им. Л.Д.Ландау
Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, Россия

Вопросы автоматизации управления ускорителями возникли в связи с возросшей сложностью строящихся ускорителей, стремлением работать на эксперимент с максимальной эффективностью и стабильностью по заданным параметрам. В качестве проблемы выдвигается задача оптимизации работы ускорителей, т.е. автоматический выбор наиболее благоприятного, оптимального режима ускорения. Расчеты показывают, что даже довольно простая автоматизация, охватывающая сравнительно небольшое количество параметров ускорителя, может привести к значительному увеличению коэффициента использования установки и существенному экономическому эффекту. Поэтому специалисты считают экономически выгодным вкладывать относительно большие суммы в электронику и вычислительную технику для автоматизации ускорителей в новых проектах. Например, стоимость только одной системы управления ванкуверского ускорителя в Канаде составляет 1,2 млн. долларов^{/1/}.

Эффективность работы ускорителя зависит от многих факторов:

1. Современности используемой методики физического эксперимента.
2. Степени автоматизации сбора, накопления и обработки данных эксперимента.
3. Стабильности работы ускорителя в заданном режиме (постоянство формы, положения и энергии пучка, максимальная интенсивность).
4. Минимального времени перестройки на новый режим ускорения, особенно при смене ассортимента ускоряемых частиц.
5. Сокращения времени на профилактику ускорителя и отыскание неисправностей (диагностика).
6. Легкости и надежности управления.

Естественно, что подобную задачу можно решить только с использованием современных средств вычислительной техники и хорошо подобранной системы датчиков и исполнительных элементов.

Однако эта задача не имеет однозначного решения для всех ускорителей, поскольку каждый ускоритель представляет собой уникальное устройство с присущим только ему характерным полем датчиков с многими параметрами и системой управления со сложными внутренними функциональными связями. Специфичность каждой системы автоматизированного управления ускорителем отражается как на структуре ее построения (от централизованной до иерархической), так и на программном обеспечении. Тем не менее в большинстве случаев все системы автоматизированного управления ускорителями имеют много общего при их реализации по отдельным этапам: от автоматизированной системы сбора и обработки информации с датчиков, отвечающих за наиболее ответственные параметры ускорителя, и представления данных оператору в наиболее удобном для него виде (режим "Советчика оператора") до разработки алгоритмов оптимального регулирования параметров ускорителя с требуемыми свойствами пучка и создания программного обеспечения в режиме разделения времени.

Постановка задачи

Впервые вопрос об автоматизации управления ускорителями в Лаборатории ядерных реакций возник в связи с созданием тандем-ускорителя тяжелых ионов и проведением опытов по синтезу сверхтяжелых трансурановых элементов при облучении свинцовой мишени ионами ксенона с энергией выше кулоновского барьера^{/2/}.

Тандем-ускоритель состоит из двух циклотронов, У-300 и У-200, связанных между собой ионопроводом со сложной системой транспортировки пучка (рис. I). Основная проблема состояла в получении долговременного стабильного пучка максимальной интенсивности. Для этого требовалось разработать систему диагностики пучка, получить максимальный коэффициент вывода пучка из У-300, транспортировать выведенный пучок с минимальными потерями до У-200 и, после перезарядки на обдирающей фольге в У-200, довести пучок до конечного радиуса с требуемой энергией.

Таким образом, ставилась задача создания автоматизированной системы сбора, обработки и представления оператору информации о параметрах пучка вдоль всей трассы ионопровода тандем-ускорителя. Такая система, работая в режиме "советчика", на первом этапе обеспечивает контроль напряжения на отклоняющей пластине У-300, токов основных и корректирующих обмоток электромагнитов и фокусирующих линз, положения и формы пучка, его интенсивности на всех участках ионопровода.

В дальнейшем предполагается ввести автоматическую регулировку вышеуказанных параметров по оптимальному алгоритму, рассчитанному для конкретного режима ускорения.

Структура системы

В качестве критерия оптимизации работы тандем-ускорителя принята максимальная интенсивность пучка ускоренных ионов на конечном радиусе циклотрона У-200, которая является функцией большого числа параметров:

$$I = f \left[\sum_{i=1}^n x_i(t) + \sum_{j=1}^m y_j(t) \right].$$

Здесь $x_i(t)$ — постоянные и медленно изменяющиеся во времени статические параметры, определяющие начальные условия ускорения, а $y_j(t)$ — функционально зависимые друг от друга динамические параметры, определяющие устойчивость режима ускорения ионов определенной массы и заряда. Первые могут быть установлены оператором или ЭВМ заранее, вторые должны быть оптимизированы.

Функции сбора, обработки и представления информации с многопараметрического поля датчиков возлагаются на малую ЭВМ PDP-8/I. Сигналы от датчиков, имеющих значение постоянных или медленно меняющихся потенциалов (статические параметры), передаются в ЭВМ через 100-канальный коммутатор (сканер), цифровой вольтметр и устройство передачи данных фирмы СОЛАРТРОН (Англия). Сигналы от датчиков, имеющих импульсный характер или требующих обработки в пределах импульса манипуляции циклотрона (динамические параметры), передаются в

ЭВМ через специальный крейт-контроллер и аппаратуру в стандарте КАМАК.

Блок-схема системы приведена на рис.2.

ЭВМ PDP-8/I имеет процессор с ОЗУ 8К 12-разрядных слов, внешнюю память на магнитной ленте TU-55 с блоком управления TC-01, устройство ввода-вывода на перфоленту PC 04/PC 05, телетайп ASR-33, дисплей с запоминающей трубкой KV8/I и управляемым световым маркером. Циклический, или выборочный, опрос до 100 аналоговых сигналов осуществляется сканером 3326 с помощью интерфейса управления 3304. Частота сканирования 50 Гц, точность измерения 10 мкВ. Каждый сигнал на входе и выходе имеет 4 шины, что позволяет получить хорошую помехозащищенность системы. Выход аналогового сканера подключен ко входу цифрового вольтметра L M I440.2, преобразующего аналоговые сигналы в цифровой код. Управление сканером и передача данных в ЭВМ осуществляются при помощи устройства передачи данных 3240, состоящего из контроллера сканера 3211, электронных часов 3210, интерфейса цифрового вольтметра 3205, выходного драйвера 3221 и цифрового дисплея 3213. Устройство передачи данных 3240 может работать автономно или с управлением от ЭВМ. Связь с ЭВМ осуществляется через специально разработанный интерфейс ИИ₁, подключенный к шине I/O ЭВМ.

Крейт для измерений импульсных сигналов и сбора информации, имеющей уже цифровой код (параллельный или последовательный), содержит аналого-цифровые преобразователи (АЦП) на 12 разрядов двух типов (импульсные и стробируемые внешним сигналом), счетчики, входные регистры на 24 разряда, цифровые дисплеи для контроля состояний регистров и счетчиков, установочные счетчики и преобразователи кодов, схемы границ (компараторы кодов), контроллер связи с ЭВМ.

Все исполнительные устройства регуляторов (шаговые двигатели, программно управляемые источники питания и т.п.) предполагается связать с ЭВМ через крейт управления, имеющий набор цифроаналоговых преобразователей (ЦАП), выходных регистров и модулей

управления двигателями. Управление крейтом от ЭВМ осуществляется через контроллер, структурная схема которого аналогична контроллеру в крейте измерения. Обращение к крейтам измерения и управления производится по специальным командам. Подключение каждого крейта к ЭВМ через свой контроллер и интерфейс к шинам I/O PDP-8/I нам представляется более удобным и дешевым по сравнению с обычным построением многокрейтовых систем через драйвер ветви и контроллер типа А^{/3/}.

В таблице приведены все параметры ускорительного комплекса, которые необходимо контролировать с помощью аналогового сканера и крейта измерения. К числу контролируемых параметров относится и ряд параметров источника многозарядных ионов, от работы которого во многом зависит основной критерий работы тандем-ускорителя - максимальная интенсивность ускоренных ионов^{/4/}. Необходимо отметить, что автоматизация управления работой источника представляет собой самостоятельную сложную проблему, требующую специального исследования. Первой попыткой в этом направлении была работа, связанная с автоматизацией процесса измерения и обработки основных параметров источника многозарядных ионов (распределение масс и зарядов ионов и их относительная интенсивность) с помощью малой ЭВМ TRA-1001^{/5/}.

В процессе ускорения достаточно мощных пучков наблюдается спад амплитуды высокочастотного напряжения на дуантах в пределах импульса манипуляции за счет откачки мощности самим пучком ускоряемых ионов. Предусмотрен контроль и автоматическая регулировка амплитуды в.ч. генератора. Для этого с пикап-электрода снимается сигнал модулированного в.ч. напряжения, детектируется, подается на АЦП и измеряется величина спада в.ч. напряжения путем 32 последовательных стробов внутри импульса манипуляции. Длительность строба - 1 мкс, частота и временной сдвиг между двумя последовательными стробами определяются режимом манипулятора. Сигнал коррекции вводится в манипулятор, складывается с первоначальным импульсом манипуляции в.ч. генератора, и, благодаря этому, вводится дополнительная мощность в процессе длительности импульса манипуляции.

Таблица

№ п/п	Наименование параметра	Категория параметра	Кол-во точек	Сигнал датчика	Величина парам.	Точность (%)	Примечание
1	Ток электромагнита (основные и коррект. катушки, коммутир. и поворотные электромагниты и линзы)	С	38	0-75 мВ 0-2,2 В	0-10А 0-2 кА	0,01 0,01	
2.	Вакуум в циклотронах и в ионопроводе	С	10	0-1 В	10^{-6} мм	5	С - статический параметр Д - динамический параметр ЦК - цифровой код
3	Напряжение на откл. пластине	С	I(3)	0-2 В	18 кВ	0,01	
4	Ток утечки откл. пластины	С	I(3)	0-2 В	0-10 мА	I	
5	Подача воды в охл. системы	С	20	0/5 В			
6	Амплитуда в.ч. на дуантах	Д	4	ЦК	0-180 кВ	0,05	
7	Частота в.ч. генератора	С	2	ЦК	0-40 мГц	0,01	
8	Добротность в.ч. системы	С	2	ЦК	0-7000	0,01	
9	Форма импульса манип. в.ч.	Д	2	ЦК		5	
10	Частота манипулятора	С	I	ЦК	50-300 Гц	I	
11	Длительность имп. манип.	Д	I	ЦК	I-3 мс	I	
12	Ток пучка	Д	15	ЦК	0-30 мкА	0,1	
13	Положение пучка	Д	6	ЦК	0-100 мм	20	
14	Энергия пучка	С	2	ЦК	0-800 МэВ	0,5	
15	Напряжение дуги источника	С	I	0-2 В	0-1,5 кВ	I	
16	Ток дуги источника	Д	I	0-2 В	0-30 А	I	
17	Ток вкаала нити источника	С	I	0-2 В	0-120А	5	

Таблица (продолжение)

№ п/п	Наименование параметра	Категория параметра	Кол-во точек	Сигнал датчика	Величина парам.	Точность (%)	Примечание
18	Напряжение подогрева	С	I	0-2 В	0-1,5 кВ	I	
19	Ток подогрева	С	I	0-2 В	0-1,5 А	I	
20	Напряжение на распыляющем электроде	С	I	0-2 В	0-2 кВ	I	
21	Ток распыляющего электрода	С	I	0-2 В	0-3 А	I	
22	Положение расп. электрода	С	I	ЦК		5	
23	Расход газа	С	I	ЦК	литры	5	
24	Полный ток ионов из источника	С	I	ЦК	0-300 мкА	10	

В систему вводится специальная схема защиты от пробоев в.ч. напряжения на дуантах циклотронов, которая реагирует как на заранее установленное "допустимое число провалов" в импульсе манипуляции, так и на превышение определенного порога по интенсивности рентгеновского излучения внутри камеры ускорителя.

Измерение энергии пучка производится толстым кремниевым детектором с комплектом тормозящих фольг^{6/}.

Ток пучка в различных точках ионопровода измеряется либо при помощи цилиндров Фарадея, либо коллекторами из сетки с коэффициентом прозрачности до 90%. Управление коллекторами - дистанционное с пульта оператора. Регистрация тока осуществляется цифровым прибором Ф-30.

Форма и положение пучка в настоящее время контролируются с помощью двух игольчатых сканеров, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях. В дальнейшем предполагается контролировать положение пучка на отдельных участках ионопровода при помощи сканеров диафрагменного типа. Каждый сканер имеет четыре подвижных ламели, расположенных под углами 90° друг к другу (рис. 3), перемещающихся по радиусу дискретно (32 положения на радиусе 100 мм). Любое смещение пучка относительно центра ионопровода приводит к появлению разностных сигналов в системе регистрации. Перемещая ламели по радиусу, можно произвести грубое измерение профиля пучка. Для более точного измерения профиля пучка предполагается использование игольчатого сканера, состоящего из 24 изолированных друг от друга коллекторов.

В описываемой системе предусмотрен контроль добротности высокочастотной системы (дуантов) циклотронов при помощи специально разработанного цифрового куметра (точность - не хуже 0,01%). Постоянно контролируя добротность, можно с большой точностью судить о качестве подвижных контактов "закороток", о температурном режиме плакировки дуантов, предупреждать аварии высокочастотной системы.

Вся информация с датчиков считывается и обрабатывается непрерывно в процессе ускорения и представляется оператору на бумажной лен-

те телетайпа в виде таблиц и на экране дисплея с изображением основных характеристик пучка по всему тракту его трассировки. Оператор оптимизирует работу ускорителя ручным регулированием поля параметров, пользуясь информацией, выдаваемой ему ЭВМ. Тем самым реализуется режим "советчика"^{7/}.

Система управления построена по двухуровневому принципу. На верхнем уровне по заданному алгоритму ЭВМ обеспечивает наиболее эффективный режим ускорения сразу по многим параметрам (регуляторам). На нижнем уровне используется ручное управление. Такой способ управления имеет преимущество, поскольку при выходе из строя ЭВМ или случайной ошибке (сбое) в ее работе произойдет лишь качественное ухудшение режима ускорения при сохранении его устойчивости и гарантии от аварии.

В режиме управления ЭВМ, пользуясь архивом режимов ускорения, записанных на магнитной ленте, выдает уставки для регуляторов тандем-ускорителя, т.е. те значения регулируемых параметров, которые должны поддерживать соответствующие регуляторы для достижения заданного режима. Эти уставки могут передаваться на регуляторы автоматически через крейт управления или вручную через оператора.

Анализ статистической информации, полученной от датчиков, с целью определения параметров, наиболее ответственных за режим ускорения, и получения необходимой точности их установки, а также определение функциональной связи между отдельными параметрами, расчет оптимальных алгоритмов управления, статистический анализ отказов оборудования и другая обработка накопленных данных производится на ЭВМ "Минск-32". На этой же машине готовится архив режимов ускорения на магнитной ленте, причем каждый режим дублируется также своей перфолентой.

Программное обеспечение

Основу программного обеспечения составляет пакетная организация

программ. Каждый пакет программ выполняет отдельную операцию. Набор пакетных программ объединяется специальным диспетчером /8,9/, который по приказам оператора с телетайпа вызывает определенную программу, записанную на магнитной ленте, и передает ей управление. Поскольку параметры ускорителя в основном изменяются сравнительно медленно, последовательное выполнение операций реализуется достаточно просто. Пакетная организация программ особенно удобна на этапе отладки автоматизированной системы управления и позволяет быстро компоновать сравнительно сложные программы.

Среди пакетов программ имеются программы считывания информации с аналогового сканера и крейта измерения, непрерывного контроля группы параметров в заданных пределах, статистического анализа девиации выбранных параметров в процессе ускорения, вывода графической информации / мнемосхем / на дисплей, расчета эмитанса пучка, контроля величины и положения пучка и т.д.

Специальными приказами с телетайпа имеется возможность менять исходные данные: допустимые изменения пределов токов в электромагнитах, скорость подъема поля, коэффициенты преобразования АЦП и ЦАП и т.д. Диалог между оператором и ЭВМ строится на ответах оператора на запросы ЭВМ. Если оператор задает значения параметра, выходящего за пределы, установленные в программе данного режима ускорения, то ЭВМ повторяет запрос. Сбор информации с датчиков и выдача сигналов коррекции на исполнительные элементы происходят в реальном масштабе времени с синхронизацией от часов 3210 устройства передачи данных 3240.

В заключение авторы приносят благодарность академику Г.Н.Флерову за постановку задачи и М.С.Бирулеву, В.В.Носокину и Г.М.Куликовой за практическую реализацию системы.

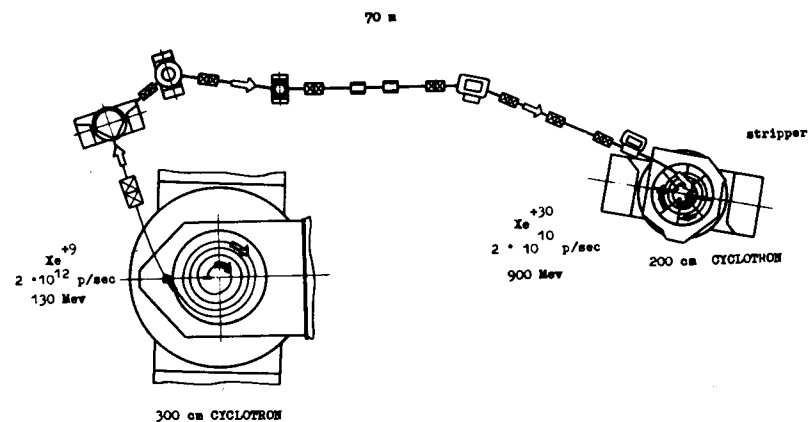


Рис. 1

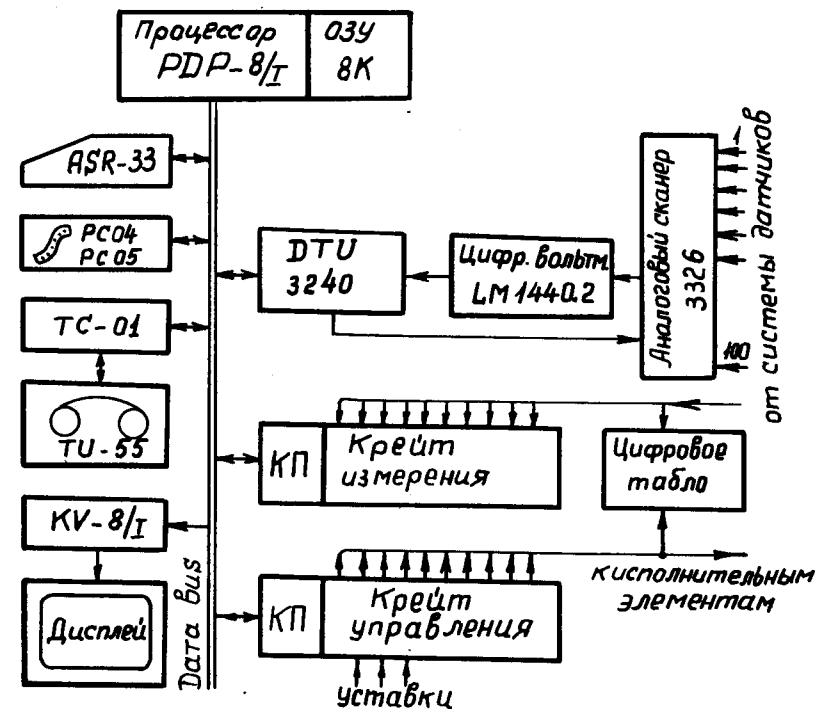


Рис. 2

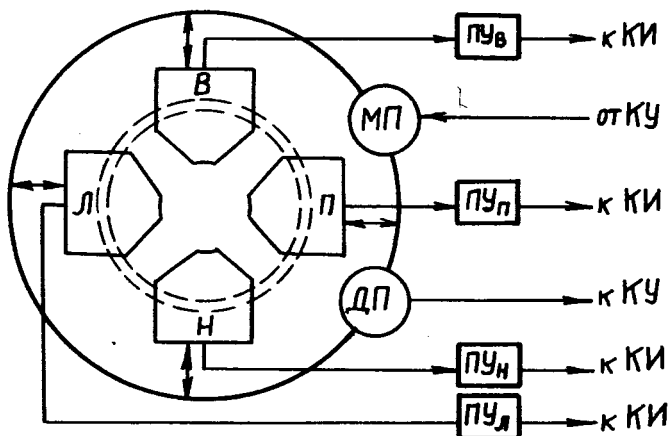


Рис. 3

Литература

1. J.V.Czesswell et al. Proceedings of the Sixth International Cyclotron Conference, Vancouver, 1972, p. 476.
2. И.А.Шелаев и др. Препринт ОИЯИ, Р9-6062, Дубна, 1971.
3. SAMAC Organisation of Multi-Crate System, Euratom report EUR 4600e, 1971.
4. А.С.Паснк и др. ПТЭ, №5, 23 (1963).
5. И.Ланг и др. Препринт ОИЯИ, IO-6489, Дубна, 1972.
6. В.Л.Михеев. Автореферат диссертации, ОИЯИ, 3228, Дубна, 1967.
7. Г.С.Казанский, А.А.Хошенко. Препринт ОИЯИ, Р9-5487, Дубна, 1970.
8. И.Ланг и др. Сообщение ОИЯИ, IO-5536, Дубна, 1970.
9. Б.В.Левичев и др. Труды III Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, том. 2, стр. 75, Наука, Москва, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 декабря 1975 года.