

УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ ПУЧКА ФАЗОТРОНА ОИЯИ

Ю.Н.Денисов, В.П.Дмитриевский, В.В.Калиниченко, С.В.Миронов,
Л.М.Онищенко, В.А.Саенко, А.Ф.Чеснов, М.Ф.Шабашов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Фазотрон ОИЯИ представляет собой импульсный циклический ускоритель протонов с конечной энергией 680 МэВ и средним током пучка до 10 мкА ^{1/1}. Система диагностики пучка фазотрона позволяет осуществлять непрерывный контроль следующих параметров ускоряемого пучка:

- 1) радиуса потерь в диапазоне 50 - 270 см,
- 2) вертикального положения на радиусах установки датчиков,
- 3) азимутальной плотности заряда и среднего тока пучка,
- 4) среднего набора энергии за оборот,
- 5) радиального распределения пучка и его положения по вертикали в канале вывода и за ним.

На рис.1 показано расположение устройств диагностики.

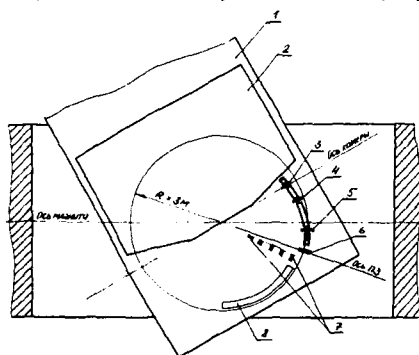


Рис.1. Расположение устройств диагностики: 1-ускорительная камера, 2-дуант, 3-ВЭ датчик возбуждителя, 5-ВЭ датчик фокусирующего устройства, 6-ВЭ датчик пробника ПЗ, 4-ВЭ датчик 2-й секции, 7-индукционные датчики, 8-С-электрод, 9-датчик радиуса потерь.



Датчики 7 полностью прозрачны для пучка, датчики 3-6 не оказывают на него заметного влияния.

Основным элементом устройства для определения радиуса потерь является сцинтилляционный β -детектор на кристалле NaI , регистрирующий β -кванты от взаимодействия пучка протонов с элементами конструкции ускорителя. Детектор расположен вне камеры в ~ 10 м от неё. На рис.2 представлены осциллограммы одного цикла ускорения.

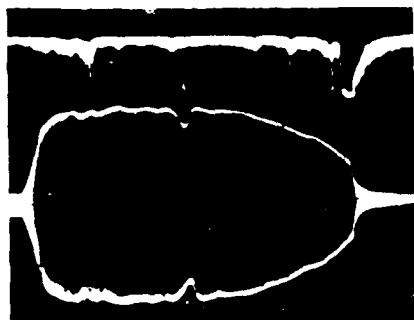


Рис.2. Осциллограммы цикла ускорения: верхняя - сигнал с выхода β -детектора, нижняя - ускоряющее напряжение.

Импульсы с β -детектора, синхронизованные с началом цикла ускорения, дают временное положение потерь. Радиальное положение пучка, соответствующее моменту потерь, может быть определено с помощью пробника. Точность измерения радиуса потерь определяется точностью измерения положения пробника при калибровке и достаточна для проведения экспериментальных работ. Устройство несложно в эксплуатации и даёт визуальную информацию о прохождении пучка при ускорении, начиная с радиуса 50 см и до его вывода, что удобно при наладочных работах.

Пять пар индукционных датчиков (рис.3) установлены на двух консолях симметрично относительно геометрической средней плоскости ускорителя в диапазоне радиусов от 107 до 262 см с равным шагом.

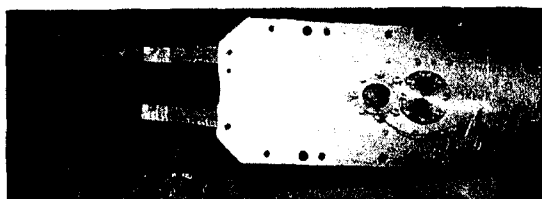


Рис.3. Индукционные датчики.

Их азимутальный размер 5° , радиальные меняются от 15 см для первого до 4 см для последнего из них, апертура составляет 10 см. Нагрузкой датчика служит кабель согласованного измерительного тракта с волновым сопротивлением 50 Ом, следовательно, он является датчиком дифференцирующего типа, чувствительным лишь к скорости изменения потока вектора электрического смещения через чувствительную поверхность датчика

$$i = \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\text{поверхность}} \vec{D} \cdot d\vec{S}, \quad (1)$$

а напряжение на его выходе

$$u = i \cdot \rho \quad (2)$$

определяется полным зарядом пучка и его угловым положением φ , т.е.

$$u = u(\varphi) = \int K(\varphi, \varepsilon) \cdot \sigma(\varepsilon) \cdot d\varepsilon, \quad (3)$$

$K(\varphi, \varepsilon)$ - аппаратная функция датчика, ε - угловое положение заряда в пучке, $\sigma(\varepsilon)$ - азимутальная плотность заряда. На рис.4 показан сигнал с датчика, полученный с помощью стробоскопического преобразования. Решение уравнения (3) в применении к нашему случаю выполнено в работе [2], где для плотности заряда получено соотношение

$$\sigma(\varepsilon_k) = \frac{2\pi}{K_{yc} \cdot 2b \cdot \rho \cdot \omega \cdot 2\alpha_0} \cdot \frac{a^2 - z_p^2}{2a} \cdot S(\varphi_k), \quad (4)$$

$2b, 2\alpha_0$ - соответственно радиальный и угловой размеры пучка, $2a$ - апертура, ω - угловая частота обращения пучка, K_{yc} - коэффициент передачи измерительного тракта, z_p - вертикальное положение пучка,

$$S(\varphi_k) = K_{yc} \cdot \int_0^{\varphi_k} [U_e(\varphi) + U_n(\varphi)] \cdot d\varphi \quad (5)$$

- результат численного интегрирования суммарного сигнала с верхнего U_e и нижнего U_n датчиков. При известной частоте повторения циклов ускорения F нетрудно получить средний ток пучка

$$\bar{I} = F \cdot \int_0^{2\pi} \sigma(\varepsilon) \cdot d\varepsilon. \quad (6)$$

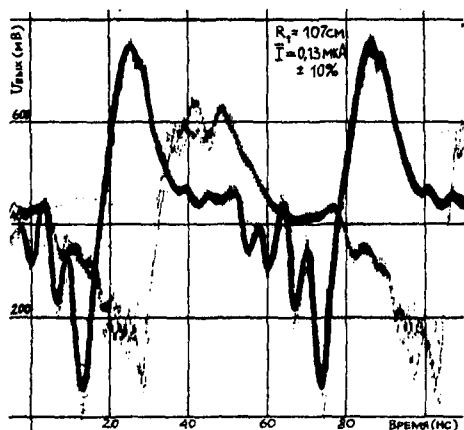


Рис.4.Быстрый сигнал с индукционного датчика (кривая с выхода осциллографа С7-8). $\bar{I} = 0,13 \text{ мкА}$, $F = 20 \text{ с}^{-1}$.



Рис.5.Осциллограммы цикла ускорения. Верхняя-ускоряющее напряжение,нижняя-сигнал с 4-го датчика,средняя-сигнал с 5-го датчика. $\bar{I} = 0,13 \text{ мкА}$, $F=20 \text{ с}^{-1}$, 500 мкс/дел.,100 мВ/дел.

Суммарная ошибка методики и аппаратурных погрешностей измерения плотности заряда ускоряемого пучка в нашем случае составляет $\leq 10\%$.

В работе ^{13/} показано, что вертикальное смещение пучка определяется выражением

$$\tilde{z}_p = a \cdot \frac{u_в - u_н}{u_в + u_н} \quad (7)$$

При определении положения пучка сигналы с верхнего и нижнего датчиков очищаются с помощью гармонического анализа от наводок, подавляющую часть которых составляет первая гармоника ускоряющего напряжения. Погрешность измерения в диапазоне вертикальных смещений пучка $\tilde{z}_p = \pm 25 \text{ мм}$ с учётом его вертикального размера составляет $\Delta \tilde{z}_p \pm 1,5 \text{ мм}$.

Величина среднего набора энергии в диапазоне радиусов между соседними датчиками может быть получена из соотношения

$$\Delta E_k = 2e \cdot \overline{V_{мд}} \cdot \overline{\cos \varphi_s} \cdot \Delta t_k \cdot \overline{f_{вч}} \quad (8)$$

Откуда для среднего набора энергии за оборот имеем

$$2e \cdot \overline{V_{мд}} \cdot \overline{\cos \varphi_s} = \frac{\Delta E_k}{\Delta t_k \cdot \overline{f_{вч}}} \quad (9)$$

ΔE_k - набор энергии при радиальном перемещении пучка между соседними датчиками, Δt_k - время перемещения, $\overline{V_{мд}}$, $\overline{f_{вч}}$ - средние амплитуда и частота ускоряющего напряжения. Время перемещения пучка между соседними датчиками, как видно из рис.5, определить несложно. Блок-схема электроники, позволяющей проводить автоматизированную обработку сигналов с индукционных датчиков, приведена на рис.6. Измерительные и управляющие блоки П, I2, I3 выполнены в стандарте КАМАК. Вся аппаратура, кроме входных коммутаторов, размещена в пультовом зале.

В области вывода используются вторично-эмиссионные датчики двух типов: многоламельные (рис.7) и дифференциальные (рис.8), с помощью которых осуществляется подстройка кривизны отклоняющего канала, а также измерение величины заброса и положения пучка относительно средней плоскости. В многоламельном датчи-

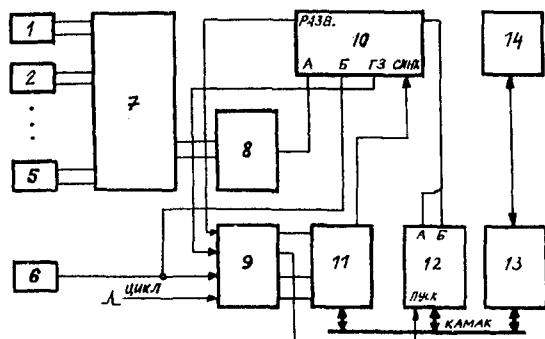


Рис.6.Блок-схема электроники системы индукционных датчиков. 1...5 -датчики пучка, 6 -датчик ускоряющего напряжения, 7 -входной коммутатор, 8-сумматор, 9-адаптор, 10-осциллограф С7-8, 11-АЦП, 12-блок синхронизации, 13-контроллер хрейта, 14-мини-ЭВМ MERA-6055.

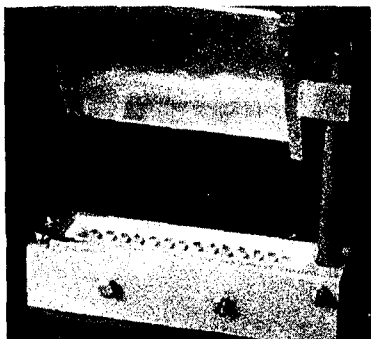


Рис.7.Многоламельный ВЭ датчик.

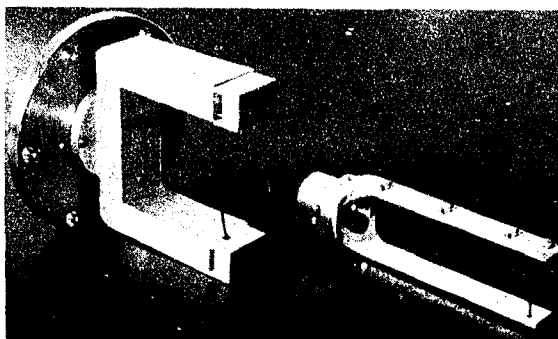


Рис.8.Дифференциальные ВЭ датчики.

ке на пути пучка под углом 74° к вертикали установлена алюминиевая фольга толщиной 50 мкг/см^2 . Выбитые пучком из фольги электроны попадают на равномерно распределённые вдоль радиуса ламели с радиальным размером 4 мм, расположенные ниже средней плоскости. Многоламельные датчики 3, 4, 5 (рис.1) установлены между элементами системы вывода, датчик 6 может быть установлен с помощью пробника на выведенный пучок. Гистограмма токов с этого датчика приведена на рис.9. Фольга этого датчика перекрывает всё сечение пучка, и, будучи прокалиброван, он может быть использован для измерения среднего тока пучка.

В дифференциальном датчике на пути пучка симметрично относительно средней плоскости установлены две молибденовые пластинки. Датчик устанавливается на перемещаемый пробник ПЗ или пробник системы вывода, с помощью которого может быть проведено сканирование пучка с целью получения его радиального распределения и вертикального смещения. Измерение токов вторичной эмиссии с датчиков проводится с помощью аппаратуры, блок-схема которой приведена на рис.10. Электрометрический усилитель имеет входное сопротивление 1 Гом, чувствительность 1 мВ/пА, приведённый ко входу дрейф около 20 пА за 8 часов в диапазоне температур $+(15 \pm 40)^\circ\text{C}$. Вся аппаратура, кроме регистрирующего устройства 7 и блока управления 8, находится в цокольном этаже ускорительного зала. Время измерения многоламельным датчиком около 30 с.

Система диагностики использует вычислительные средства АСУ фазотрона, что позволяет вести автоматизированную обработку измеряемых сигналов. Система эксплуатируется при экспериментальных и наладочных работах.

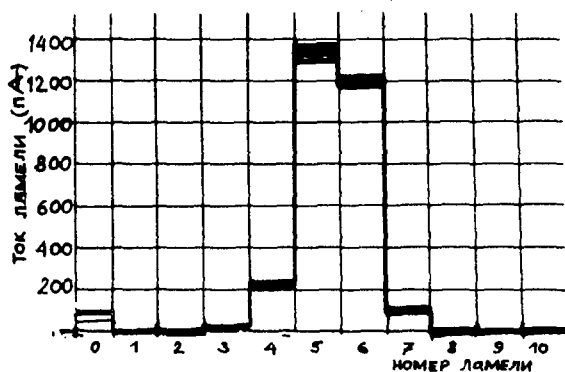


Рис.9. Гистограмма токов с ламелей ВЭ датчика выведенного пучка. $I = 0,6$ мкА.

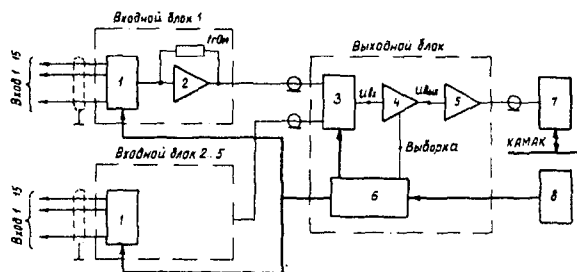


Рис 10

Рис.10. Блок-схема электроники системы ВЭ датчиков.

1-коммутатор ламелей, 2-электронметрический усилитель, 3-коммутатор сигналов с входных блоков, 4-усилитель выборки-хранения, 5-оконечный усилитель, 6-схема логики, 7-самописец или АЦП, 8-блок управления.

Литература

1. В.П.Джелепов, В.П.Дмитриевский, Л.М.Онищенко
Сообщение ОИЯИ Р9-85-358, Дубна, 1985.
2. М.Ф.Шабашов. Сообщение ОИЯИ 13-86-296, Дубна, 1986.
3. Ю.Н.Денисов, В.П.Дмитриевский, В.В.Калиниченко и др.
Сообщение ОИЯИ 9-86-295, Дубна, 1986.