

## 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 <sup>1/</sup>. 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.

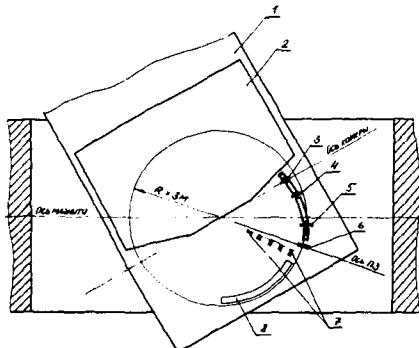


Рис.1. Расположение устройств диагностики: 1-ускорительная камера, 2-дуант, 3-ВЭ датчик возбудителя, 5-ВЭ датчик фокусирующего устройства, 6-ВЭ датчик пробника ПЗ, 4-ВЭ датчик 2-й секции, 7-индукционные датчики, 8-С-электрод, 9-датчик радиуса потерь.

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

Основным элементом устройства для определения радиуса потерь является сцинтилляционный  $\gamma$ -детектор на кристалле  $\text{NaJ}$ , регистрирующий  $\gamma$ -кванзы от взаимодействия пучка протонов с элементами конструкции ускорителя. Детектор расположен вне камеры в  $\sim 10$  м от неё. На рис.2 представлены осциллограммы одного цикла ускорения.

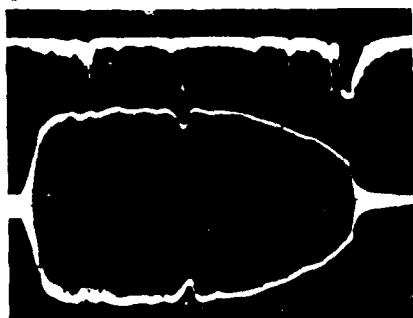


Рис.2. Осциллограммы цикла ускорения: верхняя - сигнал с выхода  $\gamma$ -детектора, нижняя - ускоряющее напряжение.

Импульсы с  $\gamma$ -детектора, синхронизованные с началом цикла ускорения, дают времменное 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.

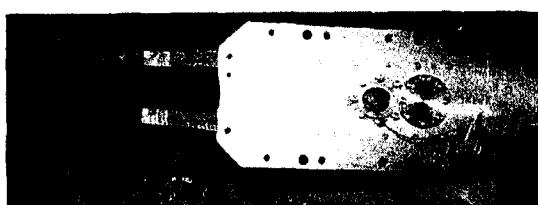


Рис.3. Индукционные датчики.

Их азимутальный размер  $5^\circ$ , 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

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

а напряжение на его выходе

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

определяется полным зарядом пучка и его угловым положением  $\varphi$ , т.е.

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

$K(\varphi, \varepsilon)$  -аппаратная функция датчика,  $\varepsilon$ -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

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

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

$$S(\varphi_k) = K_{yc} \cdot \int_{\varphi_k}^{2\pi} [u_e(\varphi) + u_n(\varphi)] \cdot d\varphi \quad (5)$$

-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

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

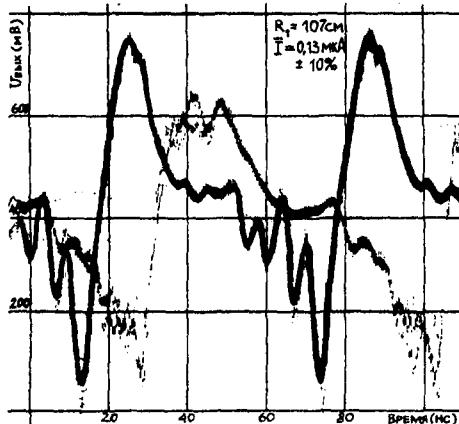


Рис.4. Быстрый сигнал с индукционного датчика (кривая с выхода осциллографа С7-8).  $I = 0,13$  мА,  $F = 20$  с $^{-1}$ .



Рис.5. Осциллограммы цикла ускорения. Верхняя-ускоряющее напряжение, нижняя-сигнал с 4-го датчика, средняя-сигнал с 5-го датчика.  $I = 0,13$  мА,  $F = 20$  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 [3] показано, что вертикальное смещение пучка определяется выражением

$$z_p = a \cdot \frac{U_b - U_h}{U_b + U_h} . \quad (7)$$

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  $z_p = \pm 25$  мм с учётом его вертикального размера составляет  $\Delta z_p = \pm 1,5$  мм.

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

$$\Delta E_k = 2e \cdot \overline{V_{mD}} \cdot \overline{\cos \varphi_3} \cdot \Delta t_k \cdot \overline{f_{B4}} . \quad (8)$$

Откуда для среднего набора энергии за оборот имеем

$$2e \cdot \overline{V_{mD}} \cdot \overline{\cos \varphi_3} = \frac{\Delta E_k}{\Delta t_k \cdot \overline{f_{B4}}} , \quad (9)$$

$\Delta E_k$  - набор энергии при радиальном перемещении пучка между соседними датчиками,  $\Delta t_k$  - время перемещения,  $\overline{V_{mD}}$ ,  $\overline{f_{B4}}$  - средние амплитуда и частота ускоряющего напряжения. Время перемещения пучка между соседними датчиками, как видно из рис.5, определить невозможно. Блок-схема электроники, позволяющей проводить автоматизированную обработку сигналов с индукционных датчиков, приведена на рис.6. Измерительные и управляющие блоки II, 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 за броса и положения пучка относительно средней плоскости. В многоламельном датчи-

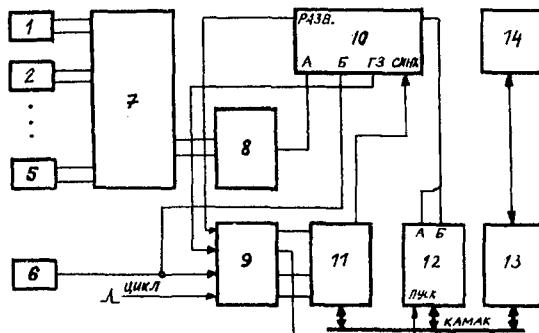


Рис.6.Блок-схема электроники системы индукционных датчиков. I...5 -датчики пучка, 6 -датчик ускоряющего напряжения, 7 -входной коммутатор, 8-сумматор, 9-адаптор, 10-осциллограф С7-8, 11-АЦП, 12-блок синхронизации, 13-контроллер крейта, 14-мини-ЭВМ МERA-6055.

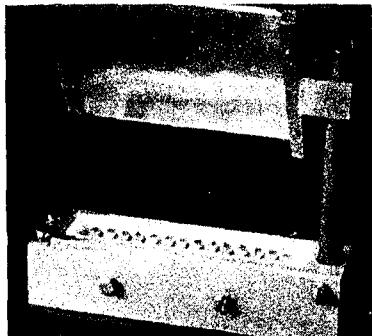


Рис. 7. Многоламельный ВЭ датчик.

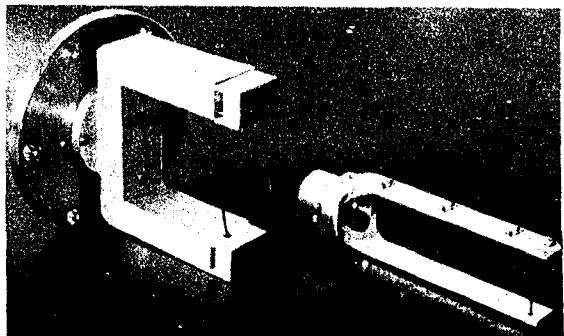


Рис. 8. Дифференциальные ВЭ датчики.

ке на пути пучка под углом 74° к вертикали установлена алюминиевая фольга толщиной 50 мг/см<sup>2</sup>. 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. I) 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, приведенный ко входу дрейф около 20 пА за 8 часов в диапазоне температур  $(15 \div 40)^\circ\text{C}$ . Вся аппаратура, кроме регистрирующего устройства 7 и блока управления 8, находится в цокольном этаже ускорительного зала. Время измерения многодиаметральным 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.

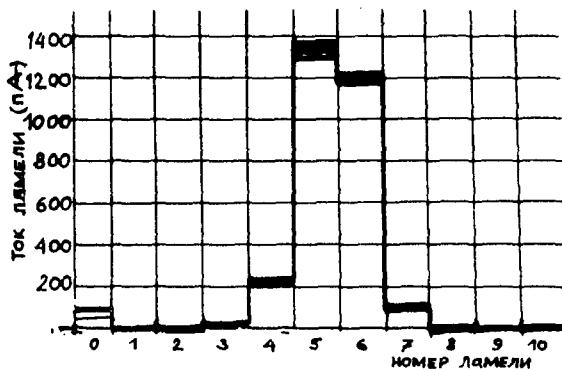


Рис.9. Гистограмма токов с ламелей ВЭ датчика выведенного пучка.  $I = 0,6 \text{ мкА}$ .

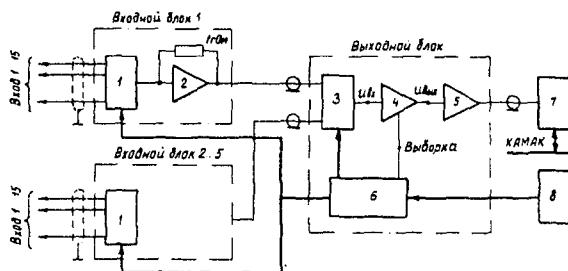


Рис.10

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

1-коммутатор ламелей, 2-электрометрический 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 Т3-86-296, Дубна, 1986.
3. Ю.Н.Денисов, В.П.Дмитриевский, В.В.Калиниченко и др.  
Сообщение ОИЯИ 9-86-295, Дубна, 1986.