

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

9-86-295

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

**ИНДУКЦИОННЫЕ ДАТЧИКИ ПУЧКА
ФАЗОТРОНА ОИЯИ**

1986

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из средств диагностики внутреннего пучка фазотрона ОИЯИ является система, созданная на базе индукционных датчиков, установленных в камере ускорителя. Будучи абсолютно прозрачными, датчики не оказывают влияния на ускоряемый пучок и с этой точки зрения наиболее приемлемы для ускорителей циклотронного типа. Область применения датчиков расширяется благодаря их малой инерционности. Простота и, как следствие, высокая эксплуатационная надежность позволяют использовать их в условиях интенсивных радиационных полей.

Система использует вычислительные средства АСУ фазотрона и может быть включена в ее состав^{1/}.

2. НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

Система используется для измерения следующих параметров ускоряемого пучка:

а/ плотности заряда пучка $\sigma(\epsilon)$ и его среднего тока

$$I = F \cdot \int_0^{2\pi} \sigma(\epsilon) \cdot d\epsilon, \quad //$$

F - частота циклов ускорения, ϵ - азимутальное положение заряда;

б/ вертикального положения пучка относительно геометрической средней плоскости ускорителя z_p ;

в/ среднего за оборот набора энергии $\overline{\Delta E}$ в диапазоне радиусов между соседними датчиками.

3. КОНСТРУКЦИЯ ДАТЧИКОВ

Пять пар датчиков установлены на двух консолях симметрично относительно средней плоскости ускорителя на азимуте $\phi = 68^\circ$ от оси камеры /рис.1/. Апертура датчиков $2a = 100$ мм, их угловой размер $2\alpha_0 = 5^\circ$. Радиальные размеры датчиков меняются от $2b_1 = 150$ мм до $2b_5 = 40$ мм. Датчики установлены с равным шагом на радиусах от $r_1 = 1075$ мм до $r_5 = 2620$ мм. В местах установки датчиков консоли с помощью пружинящих контактов соединены с плакировкой. Консоли имеют длину более 2 м. С целью достижения требуемой точности установки в конструкции предус-

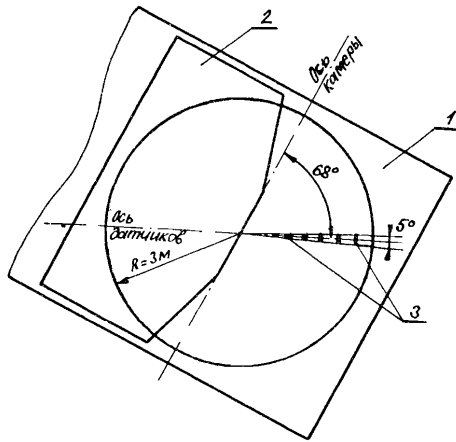


Рис.1. Расположение датчиков в ускорительной камере: 1 - камера фазотрона, 2 - дуант, 3 - консоль с датчиками.

мотрена возможность регулировки и стабильной фиксации горизонтального положения как верхней, так и нижней консолей с помощью предварительно натянутых лент. Вся конструкция сравнительно легко может быть удалена из камеры.

Каждый из датчиков представляет собой отрезок полосковой линии, вытянутый в направлении продольного движения пучка. Чувствительная поверхность датчика обращена к пучку, общий проводник соединен с корпусом конструкции. Один конец датчика открыт, ко второму подключен согласованный коаксиальный кабель.

Линейные размеры датчика

$$2b_i, 2\Gamma_i \cdot a_0 \ll \frac{\lambda_{вч}}{\pi}, \quad /2/$$

$\lambda_{вч}$ - длина волны ускоряющего напряжения, π - номер его высшей гармоники в спектре сигнала /у нас $\pi \leq 5/$. Радиальные размеры датчиков выбирались равными расчетному радиальному размеру пучка, угловой размер определялся условием максимальной компактности при заданной чувствительности в условиях ожидаемых наводок от дуанта. При оценке чувствительности использовался опыт разработки и эксплуатации подобных датчиков на циклотроне У-120М^[2], последующий расчет подтвердил правильность выбора. Следует отметить, что датчик чувствителен лишь к электрической составляющей поля пучка и является датчиком дифференцирующего типа, сигнал с которого пропорционален скорости изменения заряда в области его чувствительности.

4. ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА

Блок-схема электронной аппаратуры приведена на рис.2. Каждая пара датчиков 1-5 с помощью коммутатора 7 может быть подключена к входам сумматора 8, который, в свою очередь, имеет коммутатор, дающий возможность измерять как сигналы с верхнего или нижнего датчиков по отдельности, так и их сумму. Для определения формы быстрых сигналов при одиночном прохождении пучка

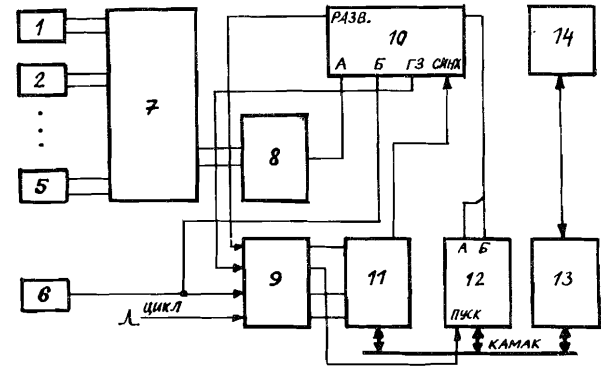


Рис.2. Блок-схема электронной аппаратуры: 1...5 - датчики пучка, 6 - датчик ускоряющего напряжения, 7 - коммутатор, 8 - сумматор, 9 - блок управления, 10 - строб-осциллограф С7-8, 11 - блок синхронизации, 12 - АЦП, 13 - контроллер крейта типа .106, 14 - мини-ЭВМ MERA-6055.

используется строб-осциллограф С7-8, на вход А которого подается сигнал с сумматора, на вход Б - синусоида ускоряющего напряжения с датчика 6. Нормализованные сигналы управления вырабатывает блок 9. Устойчивая синхронизация строб-осциллографа в условиях меняющейся частоты обеспечивается блоком 11. Медленное ступенчатое напряжение с выхода осциллографа измеряется с помощью АЦП 12^[2]. Управление работой блоков, а также математическую обработку результатов измерений выполняет ЭВМ 14. Отметим, что только коммутатор 7 расположен в непосредственной близости от ускорителя, остальная аппаратура размещена в одной из стоек АСУ в пультовом зале.

Все коммутаторы выполнены на реле и управляются блоком 11. Принципиальная схема сумматора аналогична приведенной в работе^[3], его характеристики: $R_{вх} = 50 \text{ Ом} \pm 2\%$, $K_{ус} = 1,75 \pm 2\%$, $\tau_{наст.} = 1,5 \text{ нс}$, $u_{вх}^{max} = 500 \text{ мВ}$ в линейном режиме.

На рис.3 приведена функциональная схема блока синхронизации, предназначенного для выработки импульсов запуска строб-осциллографа и управления коммутатором 7. Собственно схема синхронизации представляет собой "ворота", управляемые импульсом начала цикла ускорения, который задерживается до момента времени, соответствующего нахождению пучка на радиусе датчика. Этот момент определяется по максимуму сигнала с данного датчика. Импульс синхронизации формируется из синусоиды ускоряющего напряжения, задержка запуска стабилизирована с помощью кварца и может задаваться либо от ЭВМ через магистраль КАМАК, либо вручную. Блок выполняет также стандартные функции КАМАК. За

один цикл ускорения вырабатывается один строб. Стабильность работы блока синхронизации может быть проиллюстрирована рис.4, на котором представлен один период сигнала от циркулирующего пучка.

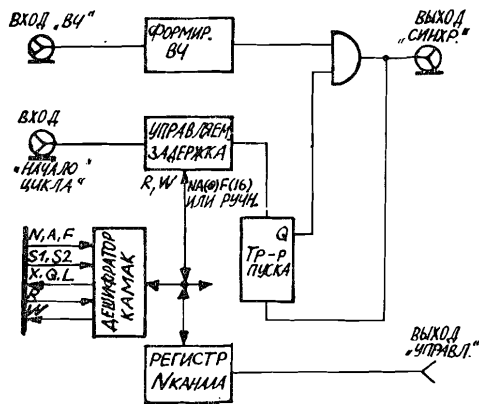


Рис.3. Функциональная схема блока синхронизации.

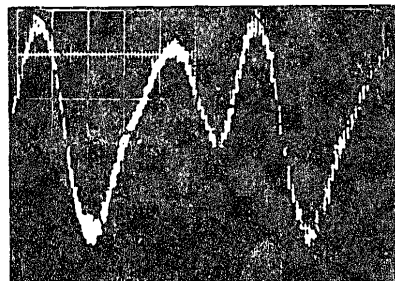


Рис.4. Осциллограмма быстрого сигнала с датчика.

5. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЗАРЯДА

Поле пучка индуцирует через поверхность датчика ток

$$i = \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{s_{\text{датчика}}} \vec{D} \cdot \vec{ds}, \quad /3/$$

ψ - поток вектора электрической индукции \vec{D} . Выходное напряжение

$$u = R_{\text{вх}} \cdot i, \quad /4/$$

$R_{\text{вх}}$ - входное сопротивление сумматора. Выходное напряжение есть функция азимутального положения пучка, его величина определяется зарядом всего пучка, то есть

$$u(\phi) = \int K(\phi, \epsilon) \cdot \sigma(\epsilon) \cdot d\epsilon, \quad /5/$$

ϕ - угловое положение пучка относительно оси датчика, ϵ - угловое положение заряда в пучке, $K(\phi, \epsilon)$ - аппаратная функция датчика.

Задача нахождения плотности заряда сводится к решению интегрального уравнения /5/ при условии, что известна аппаратная функция датчика $K(\phi, \epsilon)$. Методика решения этой задачи приводится в /4/. Здесь отметим, что процедура измерения состоит из полу-

чения с верхнего и нижнего датчиков очищенных от наводок зависимостей $u(\phi)$, а также их суммы и последующих вычислений.

В работе /4/ для плотности заряда получено соотношение

$$\sigma(\epsilon_k) = \frac{2\pi}{K_{yc} \cdot 2b \cdot R_{вх} \cdot \omega \cdot 2a_0} \frac{a^2 - z_p^2}{2a} \cdot S(\phi_k). \quad \phi_k = -\epsilon_k. \quad /6/$$

Здесь $2b$ - радиальный размер датчика, $2a_0$ - угловой размер датчика, ω - угловая частота обращения пучка, K_{yc} - коэффициент передачи измерительного тракта, z_p - вертикальное положение пучка,

$$S(\phi_k) = K_{yc} \cdot \int_0^{\phi_k} [u_{\text{в}}(\phi) + u_{\text{н}}(\phi)] \cdot d\phi -$$

результат численного интегрирования суммарного сигнала с верхнего и нижнего датчиков. Суммарная ошибка методики и случайных погрешностей составляет $\Delta\sigma/\sigma \leq 10\%$. Методическая погрешность занижает результат.

6. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА z_p

Вертикальное положение пучка может быть получено в результате анализа сигналов с верхнего и нижнего датчиков. Как показано в /4/, амплитуды сигналов с них

$$u_{\text{в}} = k \cdot \frac{1}{a - z_p}; \quad u_{\text{н}} = k \cdot \frac{1}{a + z_p}. \quad /7/$$

Все соотношения иллюстрирует рис.5. Из /7/ следует

$$z_p = a \cdot \frac{u_{\text{в}} - u_{\text{н}}}{u_{\text{в}} + u_{\text{н}}}. \quad /7'/$$

Абсолютная погрешность измерения

$$\Delta z_p = \frac{\Delta u}{u} \cdot a. \quad /8/$$

При относительной погрешности измерения напряжения сигналов $\Delta u/u \leq 2\%$ и $a = 50$ мм абсолютная погрешность с учетом вертикального размера пучка составит $\Delta z_p^{\text{max}} = \pm 1,5$ мм в диапазоне смещений пучка $|z_p| \leq 25$ мм.

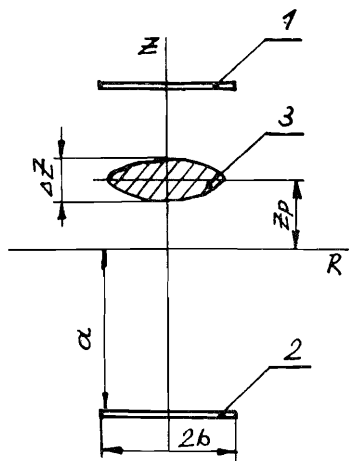
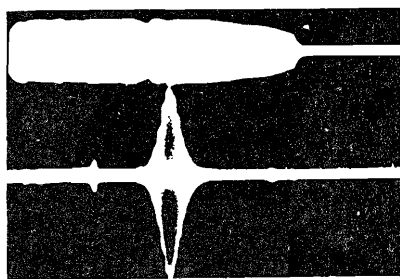
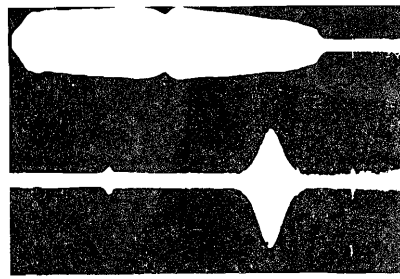


Рис.5. 1,2 - верхний и нижний датчики пучка, 3 - пучок.

Рис.6. Осциллограммы сигналов с 4-го /а/ и 5-го /б/ датчиков. На верхних осциллограммах - сигнал с датчика ускоряющего напряжения /осциллограф С1-75/.



а



б

7. ИЗМЕРЕНИЕ СРЕДНЕГО ЗА ОБОРОТ НАБОРА ЭНЕРГИИ

При перемещении в интервале радиусов от r_{k-1} до r_k между двумя датчиками частица за время Δt_k приобретает энергию

$$\Delta E_k = 2e \cdot \bar{V}_{mD} \cdot \overline{\cos \phi_s} \cdot \Delta t_k \cdot \bar{f}_{вч} \quad /9/$$

Откуда для среднего за оборот набора энергии имеем

$$2e \cdot \bar{V}_{mD} \cdot \overline{\cos \phi_s} = \frac{\Delta E_k}{\Delta t_k \cdot \bar{f}_{вч}} \quad /10/$$

На рис.6 показаны сигналы с 4-го / $r_4 = 2225$ мм/ и 5-го / $r_5 = 2620$ мм/ датчиков. Максимумы сигналов разделены во времени интервалом Δt_k . Средняя частота ускоряющего напряжения

$$\bar{f}_{вч} = \frac{1}{\Delta t_k} \cdot \int_{t_{k-1}}^{t_k} f_{вч}(t) \cdot dt = \frac{1}{\Delta r_k} \int_{r_{k-1}}^{r_k} f_{вч}(r) \cdot dr, \quad /11/$$

$f_{вч}(t)$ - частотная программа ускоряющего напряжения /рис.7/. При известной временной зависимости амплитуды ускоряющего напряжения $V_{mD}(t)$ /рис.7/ можно определить

$$\overline{\cos \phi_s} = \frac{\Delta E_k \cdot \Delta t_k}{2e \cdot \int_{t_{k-1}}^{t_k} V_{mD}(t) \cdot dt \cdot \int_{t_{k-1}}^{r_k} f_{вч}(t) \cdot dt} \quad /12/$$

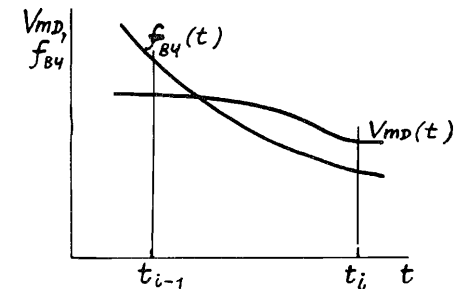


Рис.7. Временные зависимости амплитуды V_{mD} и частоты $f_{вч}$ ускоряющего напряжения.

8. ВЫВОДЫ

На базе дифференцирующих индукционных датчиков создана автоматизированная система диагностики ускоряемого протонного пучка фазотрона ОИЯИ. Система позволяет оперативно измерять следующие параметры:

а/ плотность заряда σ и средний ток пучка \bar{I} с точностью не хуже 10%;

б/ вертикальное положение пучка на радиусе датчиков относительно средней плоскости z_p с абсолютной погрешностью $\pm 1,5$ мм;

в/ средний за оборот набор энергии $2e \cdot \bar{V}_{mD} \cdot \overline{\cos \phi_s}$ в диапазоне радиусов между соседними датчиками с точностью не хуже 2%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аносов В.Н. и др. В кн.: Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1983, т.2, с.309.
2. Денисов Ю.Н. и др. ОИЯИ, Р9-11204, Дубна, 1978.
3. Саенко В.А. ОИЯИ, 9-11510, Дубна, 1978.
4. Шабашов М.Ф. ОИЯИ, 13-86-296, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 мая 1986 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Денисов Ю.Н. и др.

9-86-295

Индукционные датчики пучка фазотрона ОИЯИ

Приводится описание автоматизированной системы диагностики ускоряемого пучка фазотрона ОИЯИ, созданной на базе индукционных датчиков. Система предназначена для измерения плотности заряда пучка и его среднего тока, вертикального положения пучка и среднего в диапазоне радиусов между соседними датчиками набора энергии за оборот. На разных радиусах установлены пять пар датчиков, представляющих собой отрезки согласованных полосковых линий. В каждой из пар датчики расположены симметрично относительно средней плоскости ускорителя. Измерения проводятся в момент времени, когда пучок находится на радиусе датчика. Для определения формы сигнала используется его стробоскопическое преобразование с последующим запоминанием и обработкой в ЭВМ. Даются соотношения для получения указанных параметров пучка. При измерениях на фазотроне достигнуты следующие точности: для плотности заряда пучка - около 10%, для положения пучка - $\pm 1,5$ мм, для среднего набора энергии за оборот - около 2%.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Denisov Yu.N. et al.

9-86-295

Pick-Up Sensors of JINR Synchrocyclotron Beam

Automatic system for JINR synchrocyclotron beam diagnostics on the basis of pick-up sensors is described. The system is intended for measuring the charge beam density and average current, vertical position of the beam and the mean energy gain per turn in radius range between sensors. Five pairs of sensors are placed at different radii. These are fragments of adjusted band lines. The sensors are positioned symmetrically to the accelerator midplane. The measurements were performed when the beam is on the sensor radius. To obtain a signal from its stroboscopic transformation is used with subsequent storage and processing on computer. Ratii for determining the beam parameters are given. The following precisions are obtained at measuring on the synchrocyclotron: for beam charge density - about 10%, for beam position ± 1.5 mm, for average energy gain per turn - about 2%.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986