

Б.28

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АН СССР  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

А.М.Батраков, А.С.Калинин, И.Я.Протопопов,  
А.Д.Хильченко

ДИАГНОСТИКА ВПУСКАЕМОГО И  
ЦИРКУЛИРУЮЩЕГО ПУЧКОВ С  
ПОМОЩЬЮ ПИКАП - ЭЛЕКТРОДОВ  
В НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП - 4

Работа поступила - 14 мая 1980года.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов.

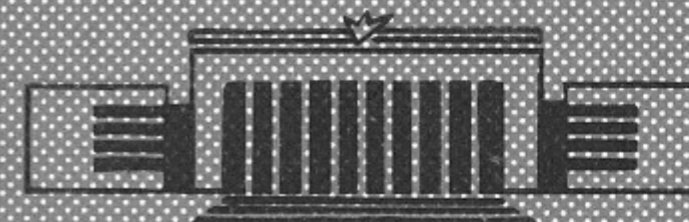
Подписано к печати 5.08.80г. МН 06849 Формат 30 x 42 1/8

Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл.1,3 печ.л.

Учётно - изд.1,1 л. Тираж 150 экз. Заказ № 167 Бесплатно

Отпечатано на ротапринтере Института Ядерной Физики  
Сибирского Отделения Академии Наук СССР  
630090, Новосибирск - 90, Проспект Науки, 11

ПРЕПРИНТ 80-167



Новосибирск

А.М.Батраков, А.С.Калинин, И.Я.Протопопов, А.Д.Хильченко

ДИАГНОСТИКА ВПУСКАЕМОГО И ЦИРКУЛИРУЮЩЕГО ПУЧКОВ С ПОМОЩЬЮ  
ПИКАП-ЭЛЕКТРОДОВ В НАКОПИТЕЛЕ ВЭПШ-4

А Н Н О Т А Ц И Я

Описаны две системы для диагностики пучка на электрон-  
-позитронном накопителе ВЭПШ-4.

Первая служит для контроля первого оборота. В ней регис-  
трируются ток и положение пучка в совокупности точек перимет-  
ра накопителя.

Вторая, использующая одиночный датчик, предназначена для  
многооборотного контроля впускаемого и циркулирующего пучков.  
Эта система позволяет регистрировать синхротронные и бетатрон-  
ные колебания, параметры которых определяются численным спек-  
тральным анализом.

В качестве датчиков использованы электростатические пи-  
кап-электроды с фильтрами.

Электрон-позитронный накопитель ВЭП-4 [1] имеет два полукольца и два прямолинейных промежутка. В одном из промежутков производится выпуск частиц, частота выпусков — 1 раз в несколько минут. Частицы сгруппированы в пучок длительностью порядка 1 нс.

Для контроля положения пучка относительно центра вакуумной камеры и величины его тока в накопителе установлено 54 датчика. Это соответствует примерно шести точкам наблюдения на одну волну бетатронных колебаний. Датчики используются для измерения равновесной орбиты [2] и для контроля первого оборота пучков. Датчик состоит из двух пар электростатических пикап-электродов. Рядом с датчиком расположена пикап-станция.

В системе контроля первого оборота пикап-станции подключены к кабельной магистрали, проложенной вдоль накопителя. При прохождении пучком пикап-станций импульсы от них поступают в магистраль и образуют временную последовательность, соответствующую последовательности прохождения станций пучком. Контроль тока пучка в последовательности точек наблюдения позволяет определять потери частиц по мере продвижения пучка, а также место его гибели. Сигналы поперечного смещения, отгибающая которых представляет собой свободные бетатронные колебания, можно использовать для первичной настройки элементов, ответственных за выпуск пучка, а также для коррекции магнитной системы накопителя. После захвата пучка в режим циркуляции производится окончательная настройка накопителя, так как стационарный характер сигналов циркулирующего пучка обеспечивает более высокую точность измерений систем диагностики.

Система контроля первого оборота использовалась для проводки пучка во время первоначального запуска накопителя в

1977 г.

Устройство системы показано на рис.1. Для простоты изображены цепи одного сигнала, например, токового. Стрелками указано направление впуска электронов ( $e^-$ ) и позитронов ( $e^+$ ). Цифрой 1 обозначена траектория частиц в накопителе, 2 - пикап-станции, 3 - магистральный кабель. Рамкой объединена аппаратура, расположенная в пультовой.

Сигналы от пикап-станций, поступающие в магистральный кабель, распространяются в нем по двум направлениям - против хода пучка (прямая последовательность импульсов) и по ходу (обратная последовательность). На рис.1, для электронов, впускаемых по часовой стрелке, прямая последовательность снимается с конца I кабеля, обратная поступает на конец II. В прямой последовательности первый импульс соответствует первой по ходу пучка пикап-станции, второй - второй и т.д. В обратной последовательности первым приходит импульс от последней станции. Интервал между импульсами от соседних станций в прямой последовательности равен  $\tau_{\text{прям}} = \tau_1 + \tau_2$ , где  $\tau_1$  - время прохождения пучком расстояния между станциями,  $\tau_2$  - время распространения сигнала в отрезке кабеля между станциями. Обратная последовательность сжата во времени:  $\tau_{\text{обр}} = \tau_2 - \tau_1$ . В системе используется прямая последовательность импульсов. Сигналы обратной последовательности затухают в согласованной нагрузке кабеля. При впуске частиц в противоположном направлении прямая последовательность снимается с другого конца кабеля.

Переключение кабеля в зависимости от направления впуска производится коммутатором К. После коммутатора сигнал поступает на усилитель У и далее на регистрирующее устройство РУ.

Перевод регистрирующего устройства из ждущего режима в режим измерений производится сигналом от блока ЗАПУСК. Стартовый импульс на блок ЗАПУСК поступает от инфлекторной системы накопителя.

Соединение пикап-станций с кабелями сделано через ключи, что позволяет оператору включить любой набор станций.

Коэффициент усиления усилителя сделан переключаемым и устанавливается заранее, по току пучка в инжекторе, подготовленному к выпуску.

Управление коммутатором, усилителем и блоком ЗАПУСК (установка длительности задержки запуска) производится регистром Р через ЭВМ. Выбор пикап-станций также осуществляется программным образом.

Схема пикап-станции для одной координаты изображена на рис.2а. Здесь 1 и 2 - пикап-электроды, Ф - фильтр, треугольником обозначена суммо-разностная схема, выходные сигналы которой, пропорциональные сумме ( $\Sigma$ ) и разности ( $\Delta$ ) напряжений пары электродов, поступают через ключи К1 и К2 в магистральные кабели К1 и К2.

Высокоомные фильтры нижних частот Ф служат для ограничения спектра сигналов, наводимых на пикап-электроды пучком малой длительности, и для устранения вредного влияния паразитных резонансов электродов на высоких частотах [3]. Наличие фильтров позволяет использовать в системе контроля первого оборота простые электронные схемы со средней широкополосностью. Кроме того, применение фильтров дало возможность использовать одни и те же датчики и в системе измерения равновесной орбиты, работающей на одной из низших гармоник частоты обращения пуч-

ка, и в системе контроля первого оборота, использующей сигналы в виде однократных импульсов. Ширина полосы пропускания фильтров составляет 10 МГц, остального тракта - 50 кГц +20МГц.

Проверка системы производится синусоидальным напряжением, подаваемым на один или оба входа суммо-разностных схем. В первом случае проверяется коэффициент передачи  $\Sigma$  - и  $\Delta$  -каналов, во втором - качество вычитания.

Рассмотрим некоторые детали.

Соединение пикап-станций с кабелем сделано с помощью генератора тока - транзистора Т, рис.26, включенного в кабель коллектором. С суммо-разностной схемой транзистор связан через трансформатор Тр. Отключение станции от кабеля производится заперением транзистора по эмиттерной цепи с помощью реле Рл. Напряжения смещения  $\pm U$  подаются по проводам, проложенным вместе с кабелями, из пультавой.

Магистральный кабель благодаря применению трансформаторов гальванически не связан с общими шинами пикап-станций, присоединенными к местным "землям" накопителя. Кроме того, съём сигнала с кабеля производится также через трансформатор. Эти меры ликвидируют паразитные контуры в цепях магистральных кабелей и тем самым устраняют основные пути проникновения наводок в систему.

Емкость коллектор-база транзистора образует в кабеле неоднородность для импульсов от других пикап-станций. Коэффициент отражения для верхней граничной частоты системы составляет менее 0,01, но ввиду большого количества подобных неоднородностей в кабеле вопрос об уменьшении отражений от них становится

существенным. Для уменьшения отражений применена компенсация емкостной неоднородности индуктивностью [4], которая в нашем случае уменьшает отражение в 3 + 5 раз.

В магистральном кабеле отсутствуют разъемные соединения, которые имеют невысокую надежность. Присоединение кабеля к пикап-станции выполнено следующим образом. Выходная часть станции сделана в виде печатной платы, на которой установлены транзисторы Т и ответная часть разъема Р (рис.26) для соединения с платой суммо-разностных схем. Оплетка кабеля соединяется с базой транзистора с помощью зажимной обоймы. В разрыв жилы включена печатная индуктивность компенсации в виде отрезка высокоомной полосковой линии, в середину длины которой включен коллектор транзистора.

Реальная система состоит из двух частей, аналогичных описанной выше. Каждая часть охватывает половину длины накопителя. Разделение накопителя сделано по линии впуска частиц, через середины прямолинейных промежутков. Запуск аппаратуры при работе со второй по ходу пучка частью системы производится с соответствующей задержкой. Разделение сделано для укорочения длины кабельной магистрали. В кабеле, охватывающем весь накопитель с длиной около 370 м, затухание импульса от последней пикап-станции было бы чрезмерно большим (10дБ для четырехмиллиметрового кабеля), что затрудняло бы интерпретацию сигналов.

Уровень шума в системе эквивалентен сигналу от пучка с  $5 \cdot 10^8$  частиц. Заметим, что параллельное включение в кабель  $n$  пикап-станций приводит к тому, что результирующий шум в кабеле в  $\sqrt{n}$  раз больше шума отдельной станции. Наводки

имеют величину того же порядка, что и шум.

В качестве регистрирующего устройства использовался двухлучевой осциллограф с запоминанием (тип С8-14), на котором наблюдался сигнал какой-либо из половин накопителя. Смещение пучка определялось в долях полуапертуры датчика сравнением амплитуд импульсов  $\Delta$ - и  $\Sigma$ -каналов. На рис.3 представлена осциллограмма прохождения пучка на первой половине оборота. Число частиц в пучке составляло около  $2 \cdot 10^{10}$ ; развертка осциллографа 200 нс/деление. Начало картины соответствует первому магниту полукольца. Отрицательные импульсы кривой 1 - токовый сигнал, снятый с горизонтальных пластин датчиков, кривая 2 - сигнал вертикального смещения в масштабе 2:1.

Спадание импульсов тока по амплитуде на начальном участке кривой 1 означает потери частиц в первых магнитах полукольца. Огибающая амплитуд импульсов кривой 2 представляет собой бета-тронные колебания.

Огибающая оснований импульсов тока (пунктирная линия на рис.3) смещается относительно линии нуля вследствие дифференцирования сигнала на разделительных трансформаторах. Заметим, что основания импульсов от соседних станций перекрываются. Из-за разброса длительности импульсов и интервала между ними перекрытие приводит к неравномерности огибающей оснований (выбросы А, Б, В, на кривой 1).

Импульс "Г" малой амплитуды - сигнал неисправного датчика с одной закороченной на землю пластиной, пауза "Д" соответствует отключенной станции. Последние четыре импульса большой амплитуды относятся к прямолинейному промежутку, где установлены датчики большей чувствительности по сравнению с датчиками

полукольца.

При попадании пучка на стенку камеры на выходе пикап-станции появляется сигнал в виде ступеньки, возникающей из-за заряда емкостей электродов выбитыми вторичными частицами. Ступенька образует пьедестал для последующих импульсов. Появление ступеньки служит дополнительным индикатором <sup>потерь</sup> частиц.

В настоящее время система оснащена также аналого-цифровыми преобразователями с выводом информации в ЭВМ. Индикация производится на графическом дисплее. Преобразователь, описанный в [5], имеет быстродействие 100 отсчетов/мкс и емкость запоминающего устройства 128 слов. При использовании преобразователей возникают следующие особенности. Для определения амплитуды импульсов необходимо измерять смещение огибающей их оснований, о котором упоминалось выше. При равномерной расстановке  $n$  датчиков тогда достаточно  $2n$  равностоящих по времени измерений. В прямолинейных промежутках накопителя датчики расставлены, однако, неравномерно. Мы отказались от построения таймера со специальным законом изменения интервала дискретизации, так как в этом случае трудно обеспечить необходимую гибкость при изменении расстановки датчиков в промежутках. Мы отказались также от выравнивания длин отрезков кабеля между пикап-станциями, так как это сделало бы систему весьма громоздкой и увеличило затухание сигнала в кабеле из-за возрастания его общей длины, и регистрируем последовательность импульсов с малым по сравнению с длительностью импульса интервалом дискретизации. При интервале дискретизации 20 нс объем запоминающего устройства преобразователя достаточен для регистрации сигнала с половины длины накопителя. Погрешность определения амплитуды импульсов

из-за дискретизации составляет при этом 20%. Установкой интервала 10 нс можно уменьшить погрешность до 5%, ограничиваясь регистрацией сигнала с четверти длины накопителя.

Применение преобразователей дает возможность с помощью ЭВМ нормировать сигналы смещения на ток пучка и исключить погрешность, обусловленную затуханием сигналов в кабелях.

Система многооборотного контроля пучков использует одну пикап-станцию, установленную на некотором азимуте  $\theta_0$  накопителя. Разностный сигнал станции в силу периодического обращения пучка в накопителе представляет собой выборки из функции, описывающей когерентные поперечные колебания пучка в замкнутой магнитной системе [6] (для простоты полагаем колебания стационарными):

$$f(\theta_0 + 2\pi k) = a \beta^{\frac{1}{2}}(\theta_0) \exp \left[ \pm i \left( \frac{L}{2\pi} \int_0^{\theta_0} \frac{d\theta}{\beta(\theta)} + 2\pi k \nu \right) \right], \quad (1)$$

где  $k = 0, 1, 2, \dots$  - номер выборки;  $\nu = \frac{L}{(2\pi)^2} \int_0^{\theta_0 + 2\pi} \frac{d\theta}{\beta}$  - число бетатронных колебаний, укладывающихся на одном обороте;

$\frac{L}{2\pi} \int_0^{\theta_0} \frac{d\theta}{\beta} = \varphi_0$  - начальная фаза колебаний. При этом считается, что длина пучка много меньше длины волны колебаний, а  $\beta$  -

функция не меняется на длине пикап-электродов. Представив

$$\nu = \hat{\nu} + \Delta\nu, \quad \text{где } \hat{\nu} \text{ - ближайшая целая часть } \nu,$$

$0 \leq \Delta\nu \leq 0,5$ , получим

$$f_k(\theta_0) = a \beta^{\frac{1}{2}}(\theta_0) \exp [i(2\pi k \Delta\nu + \varphi_0)], \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

Нецелая часть бетатронной частоты  $\Delta\nu$ , а также начальная фаза  $\varphi_0$ , определяется спектральным анализом совокупности выборок (2).

При наличии когерентных синхротронных колебаний пучок

колеблется по горизонтали относительно равновесного положения с амплитудой, пропорциональной  $\psi(\theta_0) \frac{\Delta E}{E}$  [8]. Производя выборки этих колебаний с частотой  $\omega$ , получим совокупность значений

$$x_k(\theta_0) = \psi(\theta_0) \frac{\Delta E}{E} \exp [i(\frac{\Omega_S}{\omega} 2\pi k + \chi_0)], \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

из которых определяется синхротронная частота  $\Omega_S$  и начальная фаза  $\chi_0$ .

Суммарный сигнал пикап-станции представляет собой выборки тока пучка.

В системе регистрируются выборки (2) и (3) и соответствующие им выборки тока. Выделение выборок, относящихся к пучку в данной сепаратрисе, производится стробированием. Это позволяет использовать систему при наличии в накопителе нескольких пучков.

Система позволяет решать следующие задачи.

#### I. Токвый канал.

1. Определение потерь частиц при захвате в синхротронный режим.
2. Измерение тока впускаемого пучка при наличии в данной сепаратрисе циркулирующего пучка.

#### II. Координатные каналы.

1. Наблюдение когерентных бетатронных колебаний, определение частот и фаз как для впускаемого, так и для циркулирующего пучков.
2. Измерение связи вертикальных и горизонтальных колебаний.
3. Определение правильного угла и координаты впуска пучка по информации о начальной фазе бетатронных колебаний.
4. Регистрация влияния "хвостов" <sup>поля</sup> впускных магнитов на пучок.

5. Наблюдение когерентных синхротронных колебаний, определение частоты и фазы как для впускаемого, так и для циркулирующего пучков.

6. Определение правильной энергии и фазы впуска пучка в сепаратрису по информации о начальной фазе синхротронных колебаний.

Устройство системы показано на рис.4. Изображен один канал, обведенный рамкой.

Сигнал от пикап-станции ПС в виде последовательности импульсов поступает в пультовую на усилитель  $У$  и затем на ключ Кл, управляемый от таймера  $T_1$ . Емкость  $C$  заряжается через ключ до пикового значения импульса, после чего ключ размыкается до прихода следующего стробимпульса. Сигнал с емкости через усилитель постоянного тока УПТ поступает на аналого-цифровой преобразователь АЦП, который измеряет его по команде того же стробимпульса. Перевод преобразователя из ждущего режима в режим измерений по командам стробимпульсов производится от таймера  $T_2$ . Измерения идут до заполнения запоминающего устройства преобразователя, после чего информация передается в ЭВМ. На графический дисплей в виде кусочно-ломаных кривых выводятся ток пучка и поперечное смещение по обеим координатам. Результаты спектрального анализа, проводимого в ЭВМ, в виде частотной и фазовой характеристик сигнала также могут быть выведены на дисплей.

Стробимпульсы, вырабатываемые в таймере  $T_1$ , формируются из импульсов синхронизации ускоряющей системы накопителя, частота следования которых равна частоте обращения пучка, а фаза однозначно связана с номером сепаратрисы, в которую впускается пучок. Так как электронный и позитронный пучки движутся в про-

тивоположных направлениях, стробимпульсы одного из них необходимо сдвигать по фазе относительно положения сепаратрисы на время, равное разности длительностей движения пучков от своих мест впуска до пикап-станции. Задержка стробимпульсов в таймере  $T_1$  при переходе от электронного пучка к позитронному включается регистром  $R$ . Кроме того, таймер может быть переведен в режим деления частоты следования стробимпульсов. Это применяется при измерении низкочастотных синхротронных колебаний.

При работе с впускаемым пучком запуск таймера  $T_2$  производится автоматически от инфлекторной системы накопителя. При изучении циркулирующего пучка запуск производится по команде оператора. При этом таймер вырабатывает сигнал запуска импульсной раскачки колебаний пучка.

Проверка системы производится подключением синусоидального сигнала от генератора  $G$  ко входам суммо-разностных схем пикап-станции.

Пикап-станция аналогична выше описанной. Преобразователь, описанный в [7], имеет емкость запоминающего устройства 4096 слов и быстродействие 1 отсчет/мкс.

Чувствительность системы при регистрации тока или колебаний составляет  $\sim 10^8$  частиц. Наводки проявляются только на первом обороте и не превышают уровня  $10^9$  частиц.

На рис.5 представлена картина тока и положения впускаемого пучка при захвате в синхротронный режим, снятая с дисплея. Большое деление на горизонтальных осях соответствует ста оборотам. Верхняя кривая изображает ток, нижние - смещение пучка по горизонтали и вертикали. (вертикальный размер рамок равен 1/3



апертуры датчика). Число частиц в пучке составляло при этом около  $3 \cdot 10^9$ . Видны спад тока на первых оборотах и бетатронные колебания, обусловленные неидеальностью условий впуска.

Имеется возможность применения описанных систем для измерения  $\beta$ -,  $\psi$ -функций накопителя. Для этого в системе многооборотного контроля вместо отдельной пикап-станции необходимо использовать пикап-станции системы контроля первого оборота, подключенные к магистральному кабелю. Возбуждая бетатронные или синхротронные колебания циркулирующего пучка импульсным воздействием и последовательно измеряя амплитуду колебаний в каждой станции, получаем, соответственно, значения  $\alpha \beta^{1/2}(\theta_i)$  и  $\beta \psi(\theta_i) \frac{\Delta E}{E}$  в местах расположения датчиков  $\theta_i$ . Абсолютное значение  $\beta$ -функции можно определить путем нормировки согласно выражению  $\nu = \frac{L}{(2\pi)^2} \int \frac{d\theta}{\beta(\theta)}$ . Измерение амплитуды колебаний лучше всего проводить по спектральной характеристике, определяя высоту пика. Сдвиг строб-импульсов по фазе для совмещения строб-импульса и импульса пучка от каждой станции легко осуществляется программным образом с помощью таблицы задержек, занесенной в ЭВМ. Величины задержек предварительно определяются совмещением строб-импульса и импульса тока пучка на осциллографе. Отметим, что такое применение систем предполагает известными коэффициенты передачи пикап-станций.

Программное обеспечение обеих систем состоит из трех программ: *BILD*, *RBIL* и *BPFR*. В оперативной памяти ЭВМ постоянно находится программа *BILD*, которая собирает данные с аналого-цифровых преобразователей и выводит обработанную информацию в виде графиков на дисплей. Управление системами осуществляется программой *RBIL*. С ее помощью оператор выбирает

нужный набор пикап-станций в системе контроля первого оборота, производит ручной запуск системы многооборотного контроля, устанавливает шкалу тока, задержку синхроимпульсов и т.п. Информация о состоянии систем передается в программу *BILD* для индикации. Программа *BPFR* производит быстрое преобразование Фурье (БПФ) [8] сигналов колебаний. При измерении частот колебаний для сокращения времени счета счет ведется в целых числах. Время счета на ЭВМ *ODRA-1305* составляет 4 сек при числе выборок сигнала  $10^3$ .

Запишем выражение для спектральной плотности сигнала (2) или (3) как

$$\Phi_{j/N} = \sum_{k=0}^{N-1} e^{i(2\pi k \Delta \nu + \varphi_0)} \cdot e^{-i(2\pi k \frac{j}{N})}, \quad (4)$$

где  $N$  - число выборок,  $0 \leq j/N \leq 0,5$ , и свернув его по [9], получим

$$|\Phi_{j/N}| = \sin N\pi(\Delta \nu - \frac{j}{N}) / \sin \pi(\Delta \nu - \frac{j}{N}). \quad (5)$$

Выражение (5) имеет максимальное значение внутри интервала аргумента  $j/N \leq \Delta \nu \leq j+1/N$ . Таким образом, предельная абсолютная точность определения  $\Delta \nu$  по спектральной характеристике при отсутствии шумов составляет  $\pm 1/2 N$ .

Искусственно увеличивая число выборок сигнала в  $m$  раз путем добавления выборок с нулевым значением сигнала [10], можно получить спектральную характеристику с меньшим шагом, равным  $1/mN$ , что позволяет более точно определить  $\Delta \nu$ . При этом, однако, время счета БПФ увеличивается примерно в  $m$  раз. Выгоднее сделать БПФ для сигнала, представленного по-прежнему  $N$  выборками, и определить  $j/N$ , затем, начиная с номера  $j/N$ , производить вычисление сумм (4) с шагом  $1/mN$  до нахождения

ния суммы с максимальным значением. Значение  $\Delta\nu = j/N + n/mN$ ,  $n < m$ , соответствующее этой сумме, и будет искомым. Подобная процедура незначительно увеличивает время счета.

Пределная чувствительность системы при определении спектров существенно выше, чем при наблюдении сигналов, так как Фурье-преобразование, представляющее собой узкополосный фильтр, уменьшает шум в  $\sqrt{N}$  раз.

На рис.6а представлен спектр синхротронных, на рис.6б - спектр вертикальных бетатронных колебаний пучка после впуска (см. рис.5). Число частиц в пучке  $3 \cdot 10^9$ ,  $N=10^3$ . На рис.7 представлен спектр вертикальных бетатронных колебаний, возбужденных импульсной раскачкой. Число частиц  $10^9$ ,  $N=10^3$ .

Авторы считают приятным долгом отметить участие в работе Н.И.Андреева, С.Д.Белова, А.В.Грачева, Е.Н.Дементьева, Б.А.Довженко, А.А.Жоленца, В.Р.Козака, А.В.Семенова, В.П.Черепанова.

#### Л и т е р а т у р а

1. И.Я.Протопопов. Накопительное кольцо ВЭПП-4. Труды шестого Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т.II, г.Дубна, 1979.

2. Е.Н.Дементьев и др. Измерение равновесной орбиты пучка в электрон-позитронном накопителе ВЭПП-4. Труды шестого Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т.I, г.Дубна, 1979.

3. А.С.Медведко. Разработка и исследование автоматизированных систем измерения и коррекции равновесной орбиты пучка в накопителях заряженных частиц. Диссертация, г.Новосибирск, 1978.

4. Г.В.Глебович и др. Широкополосные линии передачи импульсных сигналов. М., "Сов. радио", 1973.

5. В.И.Нифонтов и др. Регистратор однократных импульсных сигналов "Импульс-А". Препринт ИЯФ СО АН СССР 79-39, 1979.

6. Г.Брук. Циклические ускорители заряженных частиц. М., Атомиздат, 1970.

7. А.М.Батраков и др. АЦП для цифровой регистрации однократных импульсных сигналов. "Автоматика", № 4, 1978.

8. Л.М.Сороко и др. Спектральные преобразования на цифровых вычислительных машинах. Дубна, изд.ОИЯИ, Р10-3702, 1972.

9. Г.В.Двайт. Таблицы интегралов и другие математические формулы. М., "Наука", 1934.

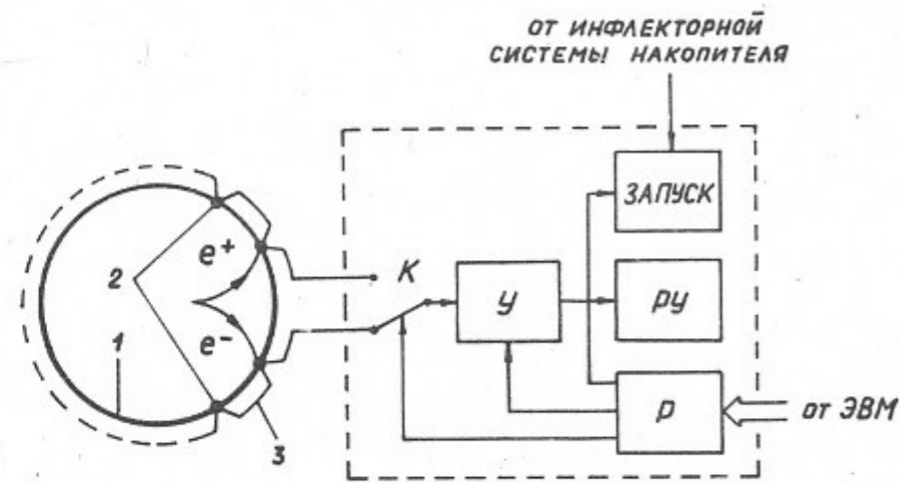


Рис.1. Система контроля первого оборота пучка.

1 - траектория частиц в накопителе; 2 - пикап-станции;  
3 - магистральный кабель; К - коммутатор; У - усилитель;  
РУ - регистрирующее устройство; Р - регистр.

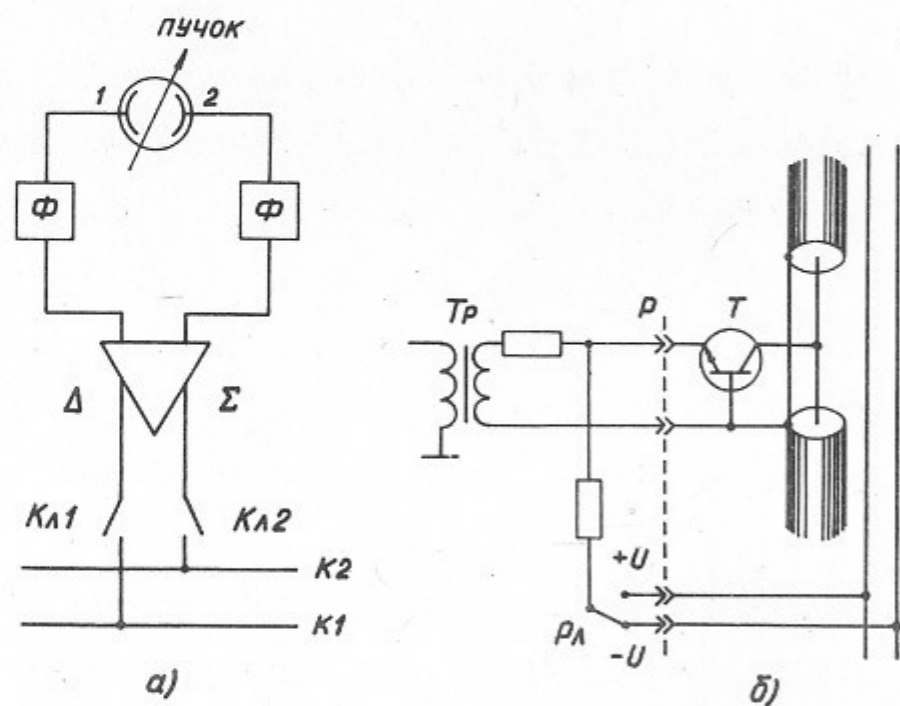


Рис.2. а) Схема пикап-станции. 1 и 2 - пикап-электроды;  
Ф - фильтр; Σ и Δ - выходы суммо-разностной схемы;  
Кл1, Кл2 - ключи; К1, К2 - магистральные кабели.  
б) Соединение пикап-станции с кабелем.  
Т - транзистор; Тр - трансформатор; Рл - реле; Р - разъем.

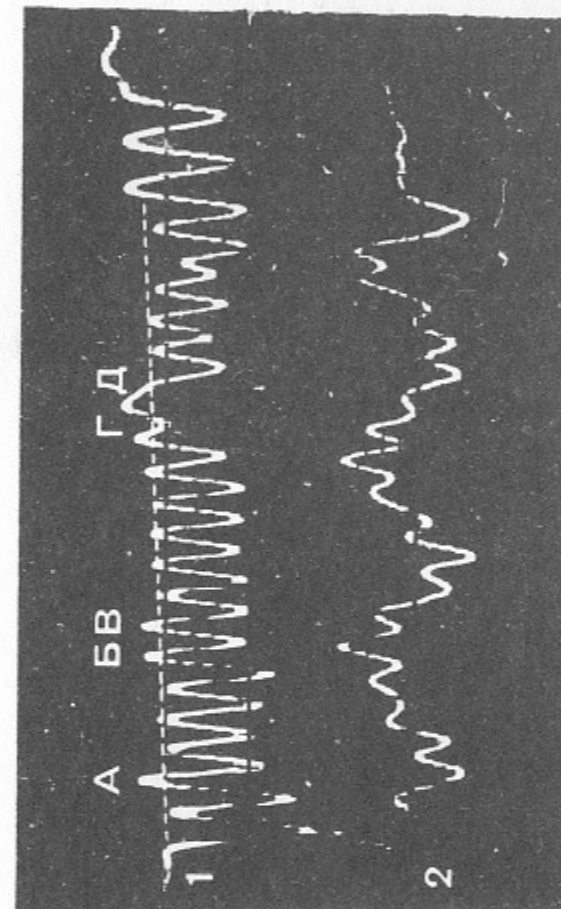


Рис.3. Осциллограмма прохождения пучка на первом обороте.

1 - токовый сигнал; 2 - сигнал вертикального смещения;  
развертка 200 нс/деление; остальные обозначения см. в тексте.

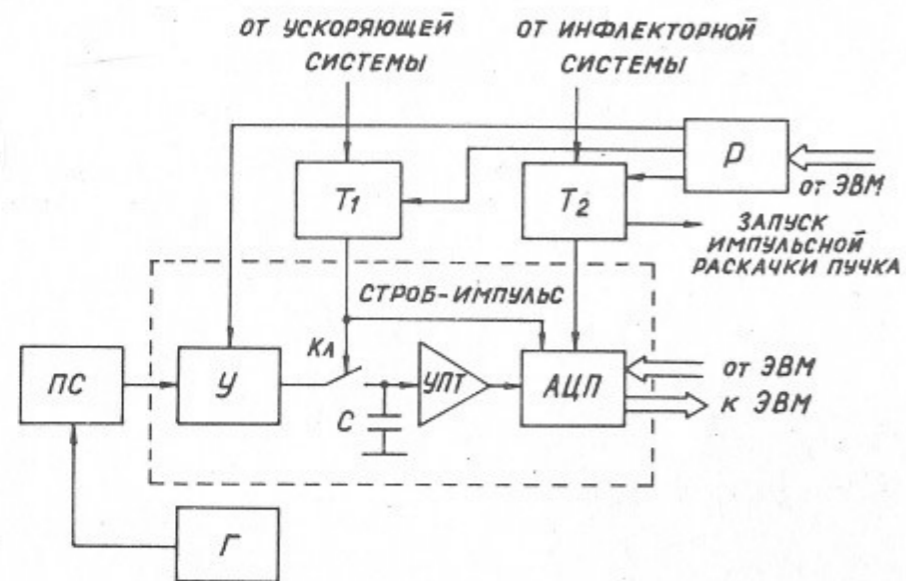


Рис.4. Система многооборотного контроля пучков.

ПС - пикап-станция; У - усилитель; Кл - ключ; УПТ - усилитель постоянного тока; АЦП - аналого-цифровой преобразователь; Т1 и Т2 - таймеры; Р - регистр; Г - генератор.

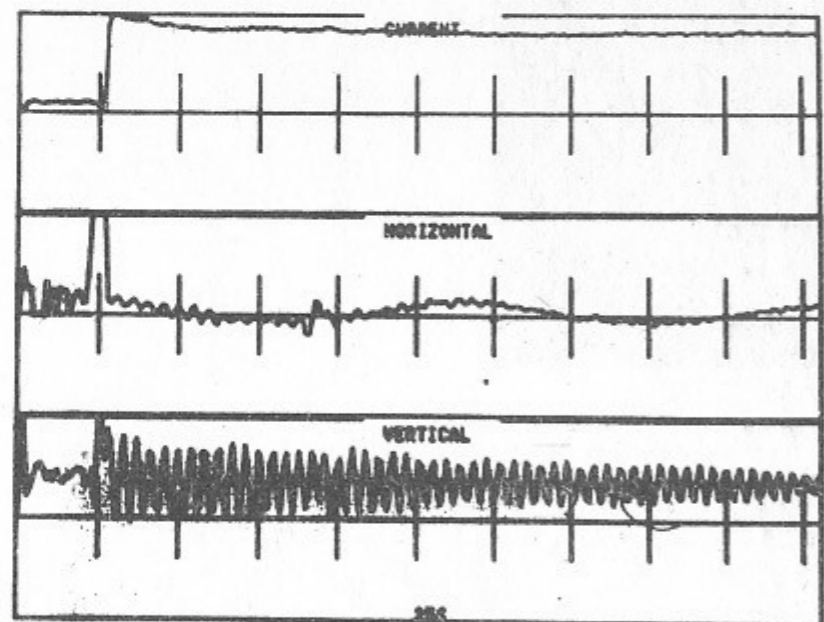
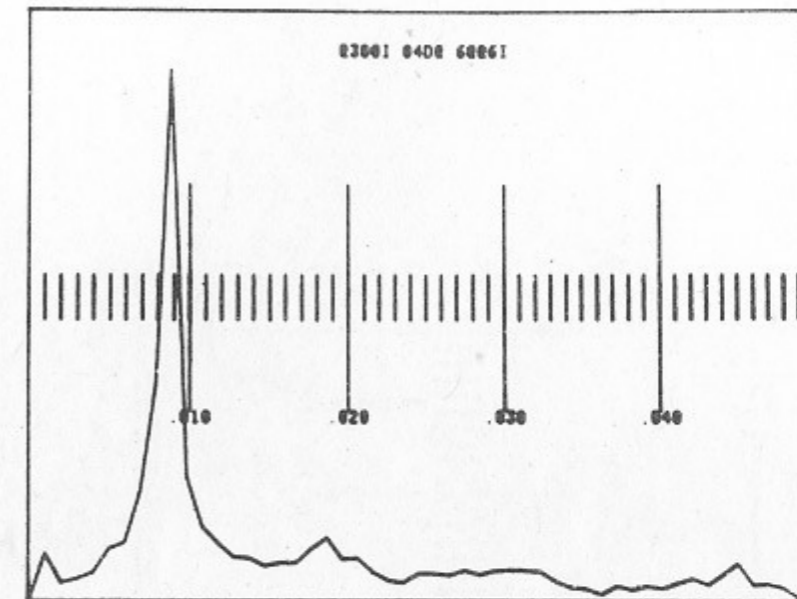
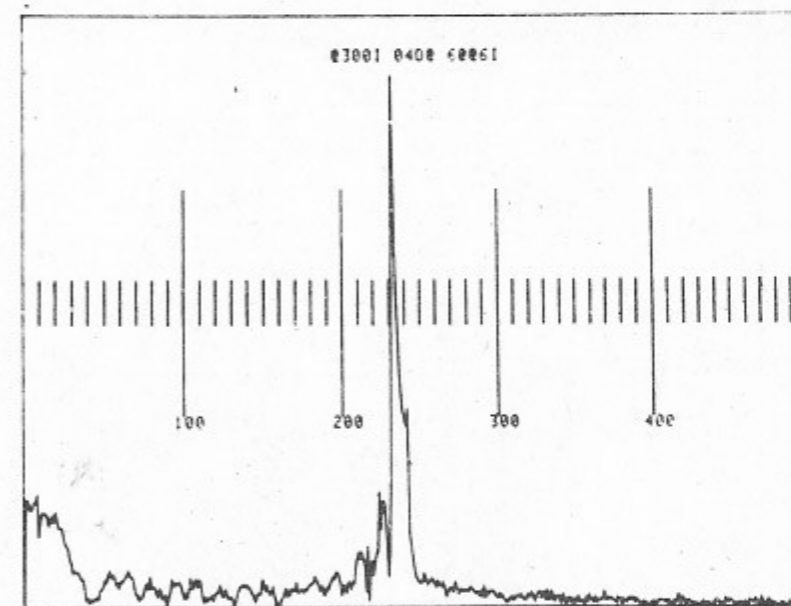


Рис.5. Картина тока и положения впускаемого пучка. Большое деление по горизонтали соответствует двадцати пяти оборотам пучка. Вертикальный размер рамок равен  $1/3$  апертуры датчика. Число частиц в пучке  $3 \cdot 10^9$ .



а)



б)

Рис.3. Спектр колебаний пучка после впуска. Число частиц в пучке  $3 \cdot 10^9$ , число выборок  $10^3$ .

- а) синхротронные колебания;
- б) вертикальные бетатронные колебания.

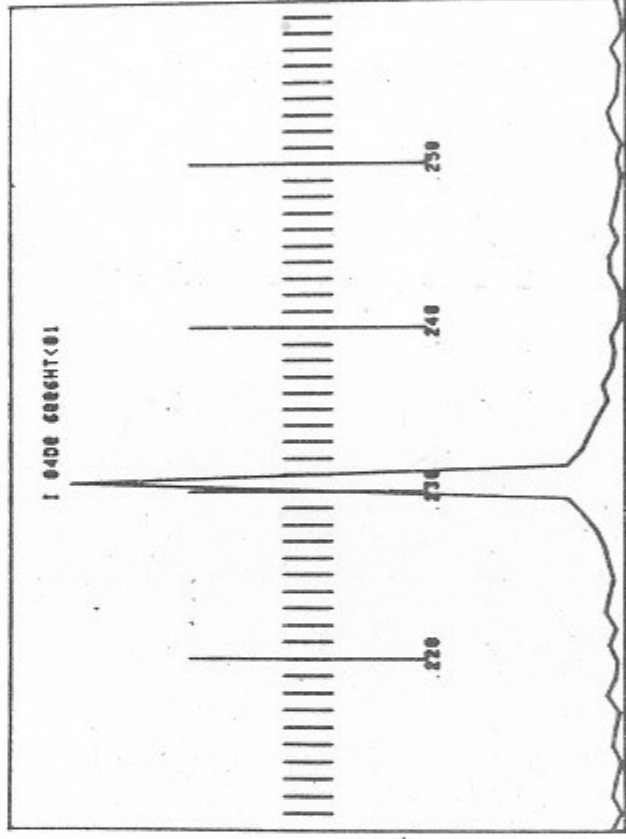


Рис.7. Спектр вертикальных колебаний пучка, возбужденных импульсной раскачкой. Число частиц  $10^9$ , число выборок  $10^3$ .

Б.28

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АН СССР  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

А.М.Батраков, А.С.Калинин, И.Я.Протопопов,  
А.Д.Хильченко

ДИАГНОСТИКА ВПУСКАЕМОГО И  
ЦИРКУЛИРУЮЩЕГО ПУЧКОВ С  
ПОМОЩЬЮ ПИКАП-ЭЛЕКТРОДОВ  
В НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП - 4

Работа поступила - 14 мая 1980года.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов.

Подписано к печати 5.08.80г. МН 06849 Формат 30 x 42 1/8

Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл.1,3 печ.л.

Учётно - изд.1,1 л. Тираж 150 экз. Заказ № 167 Бесплатно

Отпечатано на ротапринтере Института Ядерной Физики

Сибирского Отделения Академии Наук СССР

630090, Новосибирск - 90, Проспект Науки, 11

ПРЕПРИНТ 80-167



Новосибирск