

14

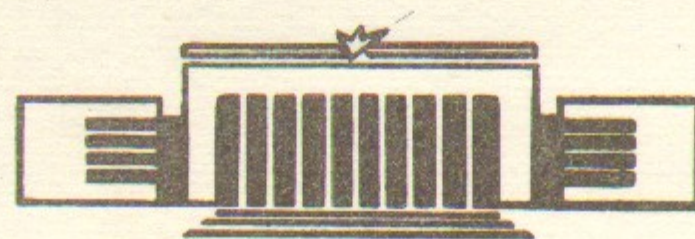


ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

Г.И.Сильвестров, А.Д.Чернякин

**Sweeping-СИСТЕМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
ВТОРИЧНЫХ ПУЧКОВ С ВЫСОКОЙ  
ФАЗОВОЙ ПЛОТНОСТЬЮ**

ПРЕПРИНТ 84-120



НОВОСИБИРСК

*Sweeping* -СИСТЕМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ПУЧКОВ  
С ВЫСОКОЙ ФАЗОВОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

Г.И.Сильвестров, А.Д.Чернякин

А Н Н О Т А Ц И Я

А работе рассматривается схема получения сепарированных пучков  $\mu$ -мезонов и антипротонов при инжекции в синхротрон ИФВЭ У-70 генерируемого протонами первой ступени УНК вторичного пучка с высокой фазовой плотностью, которая достигается созданием малого размера пучка протонов, сканируемого по мишени для уменьшения локальной плотности энерговыделения и устранения эффекта снижения плотности вещества мишени за время пролета протонного сгустка.

На этом примере выбираются параметры системы развертки пучка и синхронного смещения акцептанса канала вторичных частиц, состоящей из четырех пар одинаковых магнитов с быстро меняющимся полем амплитудой до 2 Тесла, обеспечивающей развертку пучка на мишени по окружности радиусом 3 мм.

Приводятся результаты исследования поведения шихтованных магнитопроводов на частотах более 200 кГц и формирования ими полей в одновитковых магнитах при индукциях 2 Тесла и более. Описываются конструкции радиационно-стойких магнитов и согласующих высоковольтных трансформаторов, технология изготовления шихтованных магнитопроводов из 70-ти микронного железа с высоким коэффициентом заполнения и системы питания магнитов на основе тира-игнитронных вентиляей.

Генерация пучков вторичных частиц протонами с энергией порядка 76 ГэВ характеризуется их малым собственным эмиттансом, среднеквадратичное значение которого при нулевом размере протонного пучка определяется углами рождения  $\theta$  и длиной мишени  $l$  как  $\varepsilon = \frac{l\langle\theta^2\rangle}{2\sqrt{3}}$  /1/, что например для антипротонов с энергией 76 ГэВ, генерируемых 600 ГэВными протонами первой ступени УНК при медной мишени длиной 20 см составит

$\varepsilon \sim 10^{-4}$  см.рад при собственном размере антипротонного источника  $\sqrt{\langle r^2 \rangle} \approx 0.15$  мм. Реальный эмиттанс вторичного пучка будет определяться как  $\varepsilon = (\langle\theta^2\rangle(l\langle\theta^2\rangle/2 + r_p^2/2))^{1/2}/2$ , где  $r_p$  - размер пучка протонов, который при этих энергиях и интенсивности  $\sim 5 \cdot 10^{13}$  частиц за импульс не может быть сфокусирован на тяжелую мишень в размер порядка миллиметра из-за быстрого нагрева мишени и уменьшения ее плотности на оси пучка за время, меньшее времени пролета протонного сгустка - так называемый эффект "утечки массы" /3/. Одним из путей устранения этого эффекта является быстрая развертка пучка по мишени с одновременным синхронным смещением аксептанса канала вторичных частиц посредством применения *sweeping*-системы - отклоняющих магнитов с быстро меняющимся полем /4/. Это позволяет сохранить высокую фазовую плотность вторичного пучка при существенном уменьшении локального энерговыделения в мишени.

При создании кольцевой развертки пучка по окружности с радиусом  $r_s = 3$  мм протонный пучок с приведенными выше параметрами может быть сфокусирован в размер с радиусом  $r_p = 0.5$  мм при уменьшенной приблизительно в 20 раз локальной плотности энерговыделения по сравнению с неподвижным пучком того же радиуса. Эмиттанс вторичного пучка с  $E = 76$  ГэВ составит при этом  $\varepsilon \sim 5 \cdot 10^{-4}$  см.рад., что приблизительно равно эмиттансу выпускаемого в настоящее время протонного пучка из ускорителя У-70. Это значит, что вторичный пучок с таким эмиттансом, состоящий из антипротонов и сопутствующих им  $\pi$  и  $K$ -мезонов с тем же импульсом может быть заинжектирован в У-70 по существующей трассе вывода протонного пучка в противоположном направлении. После распада короткоживущей компоненты в кольце в течении нескольких миллисекунд будет существовать перезахваченный в магнитную дорожку после распада  $\pi$  и  $K$ -мезонов моноимпульсный пучок  $M$ -мезонов с примесью антипротонов, а после распада всей нестабильной компоненты останется хорошо отсепарированный

пучок антипротонов. Организуя выпуск этих пучков с использованием стандартных элементов вывода можно превратить У-70 в источник сепарированных моноимпульсных  $\mu$  и  $\bar{p}$  пучков с высокой интенсивностью и фазовой плотностью. Общая схема работы может выглядеть следующим образом: после 13 циклов инжекции пучка У-70 с интенсивностью  $5 \cdot 10^{13}$  частиц в импульсе в УНК и подъема его энергии до 600 ГэВ может производиться последовательный выпуск на мишень отдельных порций пучка с азимутальной протяженностью, равной периметру У-70 с такими интервалами, чтобы все циклы умещались на столбе поля У-70. Более подробное рассмотрение вопросов, связанных с коэффициентами конверсии и интенсивностью вторичных пучков, динамикой их инжекции и переноса  $\mu$ -мезонов и гидродинамическим поведением мишеней выходит за рамки данного описания и является предметом отдельного рассмотрения.

Основной, принципиальной проблемой в обсуждаемой схеме является обеспечение высокой фазовой плотности вторичных пучков которая определяется возможностями фокусировки пучка первичных протонов в малый размер и может быть реализована только с использованием метода развертки пучка. Ниже мы рассмотрим схему *sweeping*-системы, удовлетворяющей этим требованиям, и приведем результаты разработки и исследования основных ее элементов, на основе которых может быть также решена аналогичная задача, возникающая при создании "яркого" антипротонного источника для инжекции в накопители антипротонов с охлаждением /5/.

Выпущенная из УНК часть протонного пучка с длительностью  $\tau = 5$  мксек и интенсивностью  $5 \cdot 10^{13}$  частиц должна иметь эмиттанс  $\epsilon_{унк} \approx 5 \cdot 10^{-5}$  см. Для фокусировки его в размер  $r_p = 0.5$  мм нужно иметь на мишени огибающую функцию  $\beta = 10$  м и угол сходимости  $\alpha_c = 10^{-3}$ . Такая фокусировка обеспечивается литиевой линзой длиной 14 см и полем на поверхности 140 кЭ /6/. Основной характеристикой линзы является интеграл поля по траектории крайней частицы, обеспечивающий заданный угол сходимости

$\alpha_c$ , а фокусное расстояние линзы и ее апертура  $2a$ , при заданном угле сходимости связанные как  $F_1 = a/\alpha_c$ , являются свободными параметрами и  $F_1$  выбирается равным 7 м ( $2a \geq 14$  см) из соображений создания большей базы для отклонения пучка

*sweeping*-магнитами. Как показано в работе /4/, угол отклонения магнитом  $\alpha_{s1}$ , расположенным перед линзой, приводит к смещению пучка на мишени на  $\Delta = F_1 \cdot \alpha_{s1}$ , так что в данном случае при  $\Delta = 3$  мм магнит должен обеспечить угол  $\alpha_{s1} = 4.3 \cdot 10^{-4}$ , т.е. иметь интеграл поля  $\int H(t) dl = \frac{\alpha_{s1} \cdot E_1}{300} = 6.6 \cdot 10^5$  Э.см и апертуру  $A_1 = A_2 = 1.6$  см  $> 2a$ . Для создания круговой развертки пучка с радиусом  $r_{sw} = \Delta = 3$  мм необходимо иметь два таких магнита с взаимно перпендикулярными полями, запитываемых синусоидальными импульсами тока с периодом  $T = \tau = 5$  мксек, сдвинутыми по фазе на  $\pi/2$ ; при питании более высокочастотной синусоидой с затуханием пучок будет разворачиваться по спирали.

Антипротонный пучок при поперечном импульсе  $P_{\perp} = 0.53$  ГэВ /с и энергии 76 ГэВ имеет после мишени угол  $\theta = 7 \cdot 10^{-3}$ ; в пределах этого же угла лежат практически все  $\pi$  и  $K$ -мезоны, имеющие меньший поперечный импульс. Собираение такого пучка может быть обеспечено литиевой линзой с фокусным расстоянием  $F_2 = 0.9$  м и апертурой  $2a = 2$  см, определяемой размером пучка на линзе  $r_0 = F_2 \theta = 6.3$  мм и его смещением на мишени  $r_{sw} = 3$  мм. Во второй фокальной плоскости линзы пучок будет иметь угол пересечения с оптической осью  $\alpha_{s2} = r_{sw}/F_2 = 1.1 \cdot 10^{-3}$ . Для его компенсации потребуются вторая пара магнитов с  $\int H(t) dl = \frac{\alpha_{s2} E_2}{300} = 8.5 \cdot 10^5$  Э.см и апертурой  $A_1 = A_2 = 1.6$  см  $> F_2 \theta$ , т.е. точно таких же, как и магниты развертки.

Основными вопросами технического выполнения *sweeping*-систем с такими параметрами является выбор конструктивного варианта отклоняющих магнитов и схемы их системы питания. Из двух рассмотренных вариантов — безжелезного магнита и магнита с ферромагнитным магнитопроводом мы остановились на последнем, поскольку безжелезная система имеет приблизительно в 3 раза большую энергоемкость. Однако, применение хорошо работающих на частотах более 200 кГц ферритовых магнитопроводов в данном случае оказывается неприемлемым из-за ограниченной индукции в ферритах  $B_{max} \approx 0.2$  Т, что приводит к недопустимо большой длине магнитов  $\sim 4$  м. Поэтому была исследована возможность применения на этих частотах в режиме одиночных импульсов, когда потери в магнитопроводе оказываются незначительными, тонко шихтованного электротехнического железа. Магнит имеет одновитковую конструкцию (рис.1) с квадратной апертурой  $A_1 = A_2 = 1.6$  см,

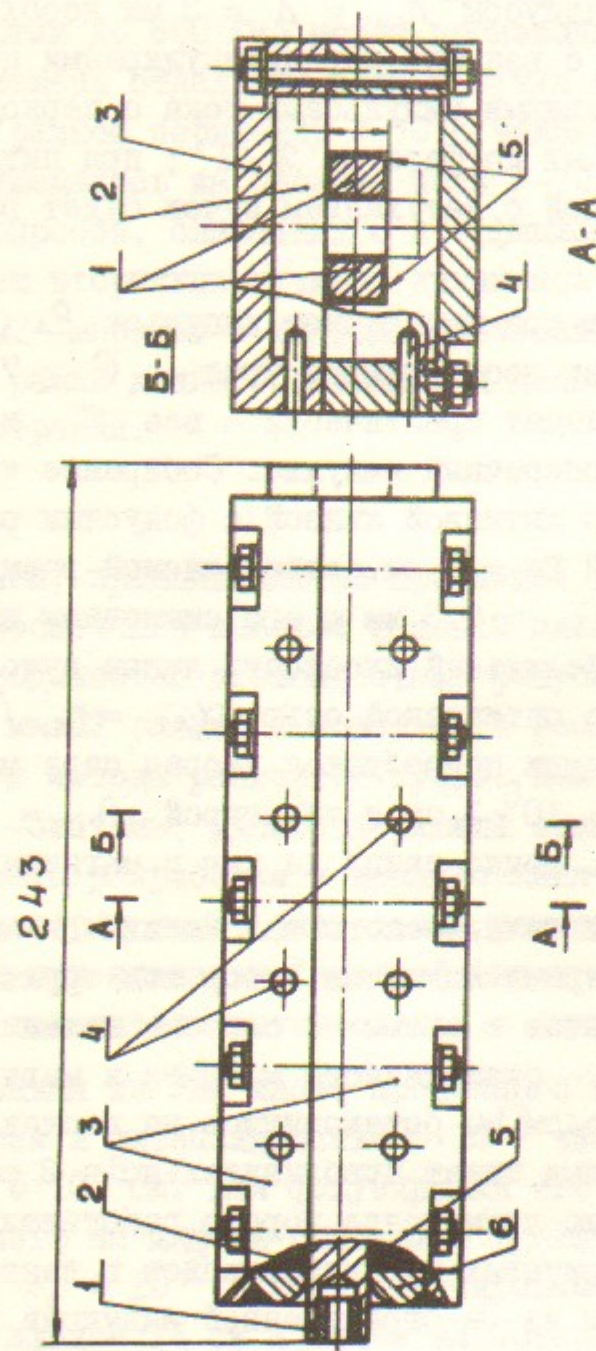


Рис.1. Боковой вид и поперечное сечение магнита.  
 1 - токовые шины, 2 магнитопровод, 3 - силовой корпус, 4 - штифты,  
 5 - полимерная изоляция, 6 - приваренный торцевой вкладыш.

поле в которой формируется скиновыми поверхностями параллельных токонесущих шин и перпендикулярными им поверхностями ферромагнетика. Измерения показали, что при изготовлении магнитопровода из железа ЭТ-34-25 толщиной 70 микрон с хорошим коэффициентом заполнения  $\sim 0.9$  достигается приемлемая для данной задачи однородность магнитного поля вплоть до индукций более 2Т. На рис.2а приведена кривая намагничения, достаточно линейная вплоть до  $B \cong 2T$ , и распределения поля в апертуре при различных индукциях (рис.2б). Допустимая в данном случае неоднородность поля в апертуре в несколько процентов позволяет выбрать в качестве рабочей величины индукцию в магните  $\sim 2T$ . При этом длина каждого магнита оказывается равной  $l = 43$  см, ток возбуждения  $I = 26$  кА, индуктивность  $L = 0.54$  мГн и энергоемкость  $W = 185$  Дж. Реактивная мощность импульсного генератора, питающего такой магнит на частоте 200 кГц должна составить  $P \cong 0.46$  ГВт при напряжении на магните  $V \cong 18$  кВ. С уменьшением поля в магнитах и соответствующем увеличении их длины энергоемкость системы будет уменьшаться пропорционально величине поля, что может служить резервом при разработке системы с рассмотренными параметрами.

Помимо необходимой высоковольтности конструкция магнитов осложняется требованием их высокой радиационной стойкости, что особенно относится ко второй паре магнитов, расположенной непосредственно за мишенью в зоне очень высокой активности. Для повышения надежности магнитов основным соображением при выборе их конструкции и схемы питания было снижение напряжения на токовых шинах, для чего каждый магнит разбивается на две части длиной по 22 см, запитываемые параллельно и токовые шины закорачиваются на корпус на одном из торцов магнита. В результате, на входе каждая шина имеет максимальный потенциал относительно корпуса не более 4,5 кВ.

Обеспечение высокого коэффициента заполнения магнитопровода из тонкого железа достигается применением специальной технологии его изготовления. Сплошные прямоугольные пластины фосфатированного железа размером  $50 \times 70$  мм<sup>2</sup> укладываются в силовой корпус - длинный короб прямоугольного сечения со сплошным дном (3 на рис.1) и через толстую торцевую пластину (6) в специальном приспособлении сжимаются прессом в продольном направлении с силой  $\sim 20$  тонн, после чего без снятия этого усилия пластина

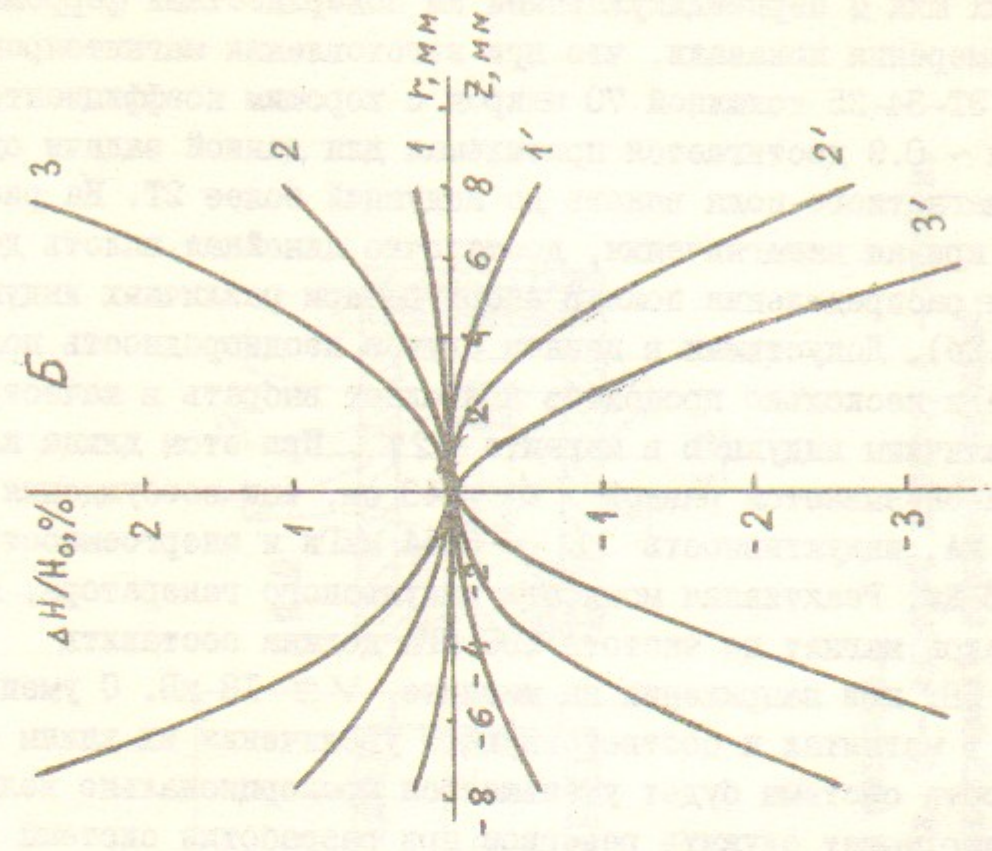
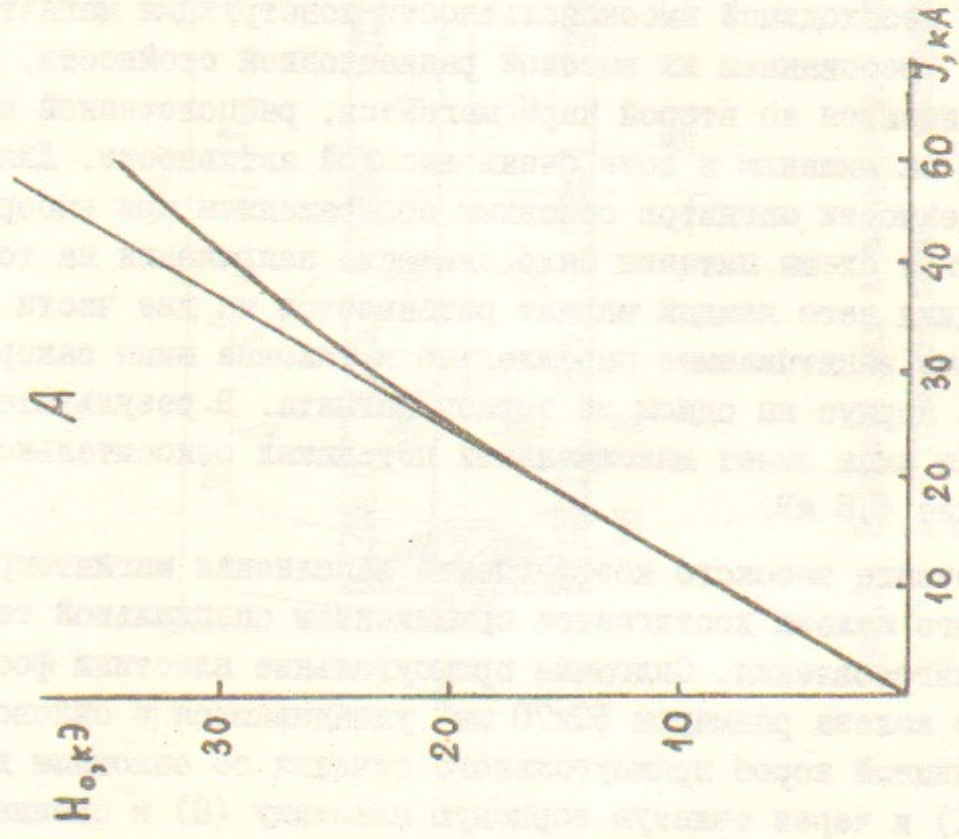


Рис.2. А - кривая намагничивания магнита.

Б - распределение поля в средней плоскости магнита при  $H_0 = 25$  кЭ - кривая 1,  $H_0 = 38$  кЭ - кривая 2,  $H_0 = 44$  кЭ - кривая 3, кривые 1', 2' и 3' - распределение поля по вертикальной координате при  $r = 0$  и тех же значениях  $H_0$ .

(6) приваривается по периметру к корпусу. Для поперечной фиксации шихтованного железа в него запрессовываются штифты (4) с шагом 45 мм в продольном направлении и затем весь монолитный брусок разрезается на две неравные части. Плоскость одной из них шлифуется, образуя верхнюю крышку магнитопровода с несимметричным разрезом, во второй фрезеруется прямоугольный паз, в котором размещается цельно фрезерованный блок токовых шин (I). При приблизительно 5-ти микронной толщине оксидного покрытия на каждой стороне железа такая технология изготовления обеспечивает максимально возможный коэффициент заполнения  $\sim 0.9$ . Важным результатом измерений поля магнитов оказалась практическая нечувствительность его топографии в пределах точности  $\sim 0.5\%$  к поверхностным микроразмерам листов железа от обработки при изготовлении по описанной технологии. Каждая шина обматывается тремя слоями 35-ти микронной полиимидной пленки (5), обладающей высокой радиационной стойкостью и сохраняющей свои диэлектрические и механические свойства при наборе дозы вплоть до  $10^{11}$  рад. Радиационная стойкость пленки специально исследовалась при облучении ее электронным пучком с энергией 1 МэВ на промышленном ускорителе ЭЛВ-1 ИЯФ. На одном торце шины закорачиваются на корпус, на втором они выступают за пределы магнитопровода и имеют изоляционную поверхность более 1.5 см.

Разбиение магнитов на секции с параллельным питанием и заземлением средней точки упрощает их конструкцию и повышает надежность, но приводит к снижению индуктивности до 0.135 мГн, что требует предельного уменьшения паразитных индуктивностей контура в токоподводах и генераторе и дополнительной изоляции наружной оплетки коаксиальных токопроводов и катодов коммутаторов генератора. Для сведения к минимуму роли паразитных индуктивностей при включении по такой схеме было рассмотрено применение согласующего трансформатора, повышающего индуктивность контура и позволяющего оптимальным образом заземлять первичную и вторичную цепи.

Конструкция такого трансформатора должна удовлетворять требованиям электрической прочности при напряжении в первичной цепи более 20 кВ, малой индуктивности рассеяния ( $L_p \sim 30$  нГн) и радиационной стойкости применяемой изоляции. Разработанный для этой цели трансформатор с коэффициентом трансформации  $N = 2$  (рис. 3) имеет кабельную конструкцию с изоляцией на основе кера-

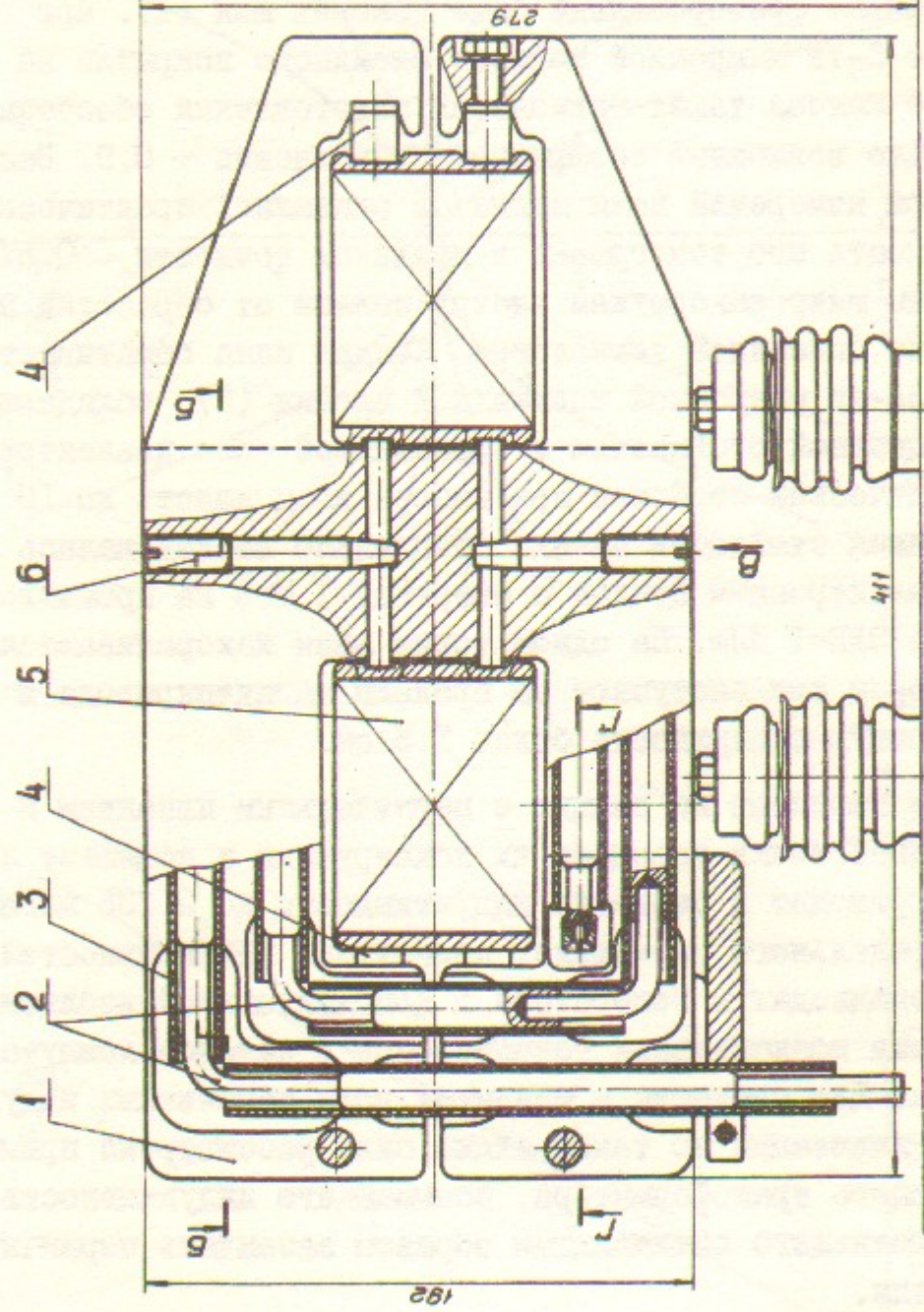


Рис. 3А. Согласующий трансформатор - сечение в плоскости первичных витков.  
 1 - вторичный виток, 2 - первичные витки, 3 - керамические трубки,  
 4 - опорные изоляторы фиксации магнитопровода, 5 - магнитопровод,  
 6 - прижимные винты фиксации магнитопровода.

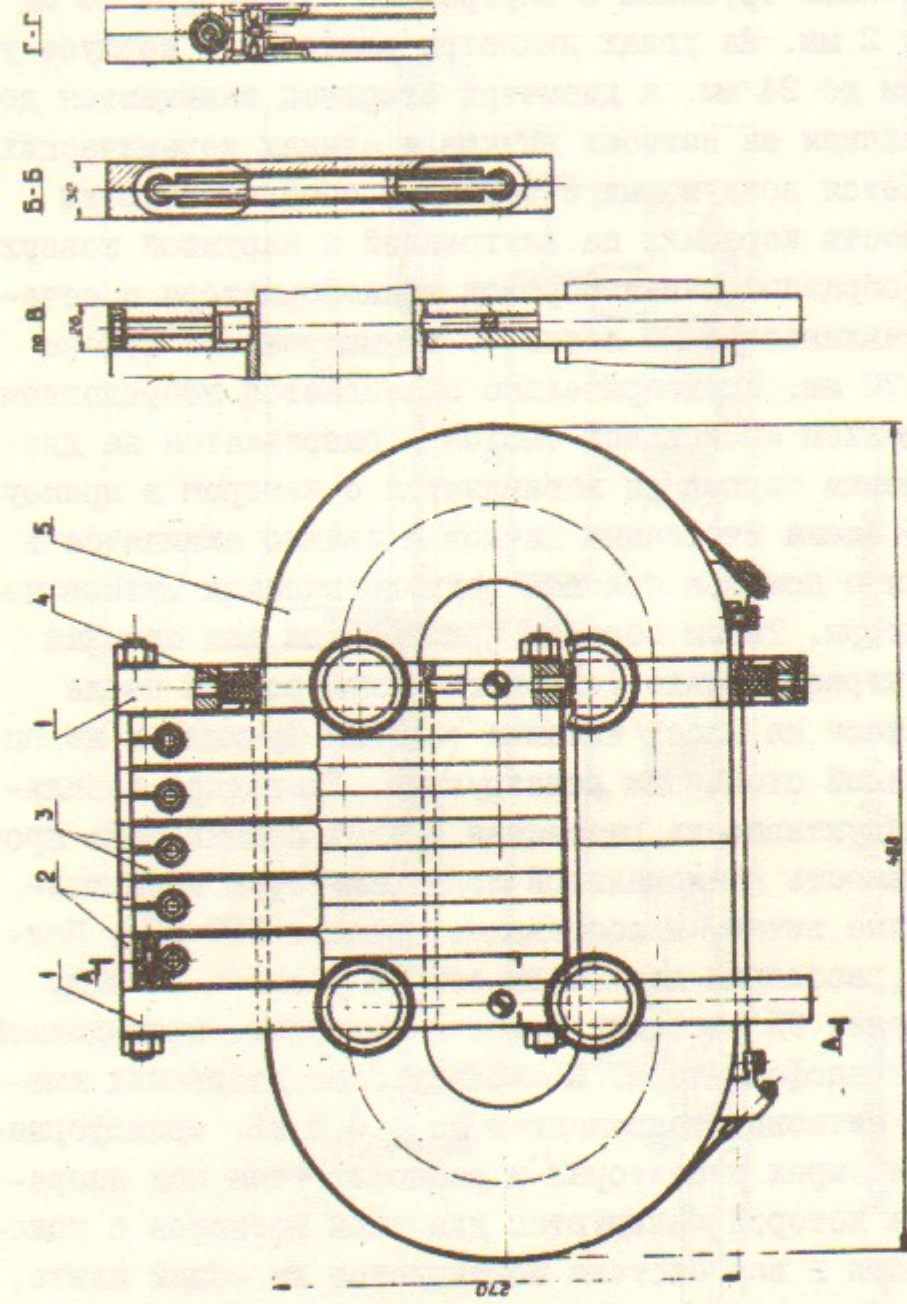


Рис. 3Б. Согласующий трансформатор - вид снизу.  
 1 - боковые витки для фиксации магнитопровода, 2 - вторичные  
 витки, 3 - изоляторы первичных витков, 4 - опорные изоляторы,  
 5 - магнитопровод.

мических трубок и воздушных зазоров и изготавливается в виде пяти или более отдельных секций, включаемых параллельно. Каждая секция представляет собой плоский прямоугольный виток вторичной обмотки, состоящий из двух частей, внутри которых в каналах с цилиндрическим сечением располагаются два прямоугольных витка первичной обмотки, представляющие собой стержни диаметром 14 мм, изолированные от корпуса и центрируемые в нем на прямолинейных участках керамическими трубками с внутренним диаметром 14 мм и толщиной стенки 2 мм. На углах диаметры расточек в корпусе увеличиваются с 18 мм до 24 мм, а диаметры стержней занижаются до 8 мм, так что изоляция на изгибах витков и стыках керамических трубок обеспечивается воздушными зазорами и соответствующим развитием поверхности керамики на внутренней и наружной поверхностях трубок. 0-образный магнитопровод трансформатора с сечением  $70 \text{ см}^2$  изготавливается из ленты 70-ти микронного железа ЭТ-34-25 шириной 70 мм, предварительно склеивается посредством пропитки под давлением эпоксидной смолой и разрезается на две части. После шлифовки торцов он вставляется с зазором в прямоугольное отверстие блока вторичных витков и сильно сжимается в плоскости шлифовки с помощью боковых технологических витков через опорные изоляторы. Таким образом, применяемая для склейки эпоксидная смола играет только технологическую роль и после сборки трансформатора не несет никаких силовых функций и не определяет радиационной стойкости конструкции. Благодаря кабельной конструкции индуктивность рассеяния каждой секции есть просто полная индуктивность коаксиальной линии, которую представляют собой первичные витки, и составляет порядка 130 нГн. Полная индуктивность рассеяния всех 5-ти секций равна  $\sim 30 \text{ нГн}$ , т.е. составляет менее 6% от индуктивности нагрузки, приведенной к первичной цепи трансформатора. Поскольку блок вторичных витков находится под витковым напряжением до  $\pm 4.5 \text{ кВ}$ , трансформаторы крепятся на четырех изоляторах и располагаются под направляющей плитой, на которой базируются две пары магнитов с токоподводящими фидерами и вся система монтируется на общей плите, что позволяет перемещать ее как целое, осуществляя юстировку магнитов в поперечных направлениях (рис.4).

Подключение трансформаторов к токоподводам, соединяющим их с генераторами, осуществляется посредством жидкометаллических контактов на основе галлий-индиевого сплава. На торцах то-

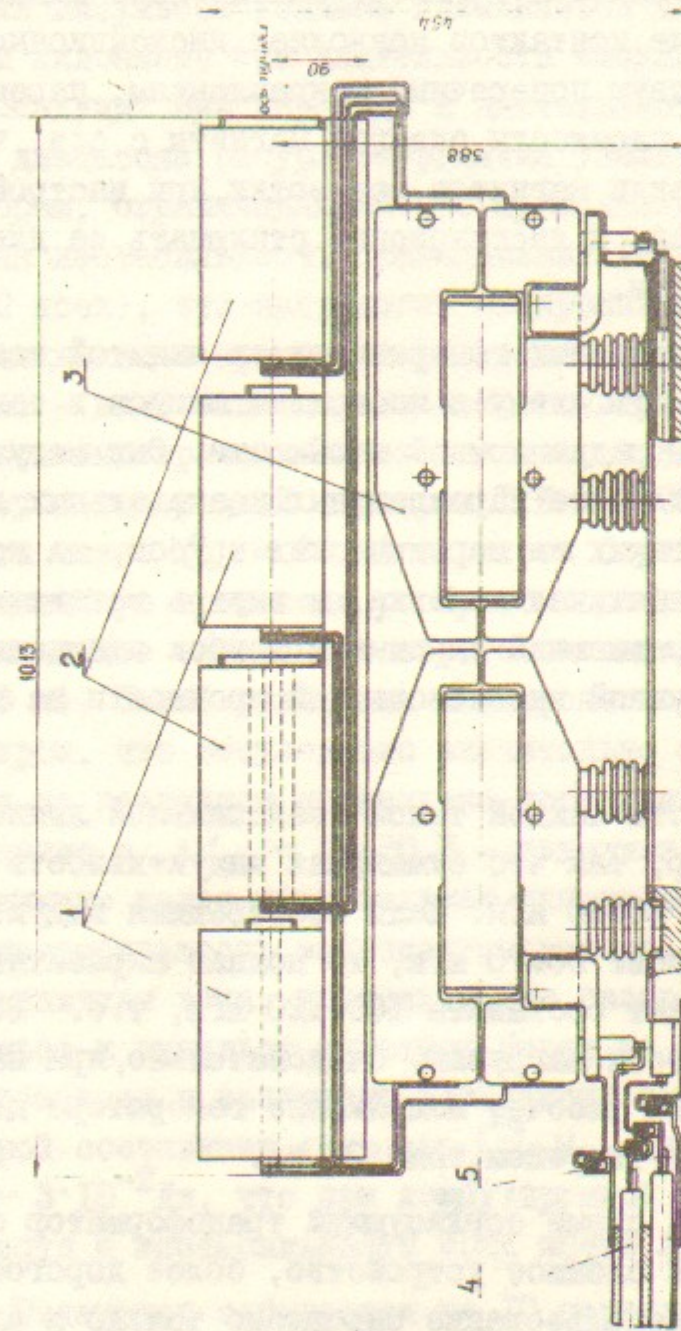


Рис.4. Компановка *sweeping* - системы.

1 - магниты вертикального отклонения, 2 магниты горизонтального отклонения, 3 - согласующие трансформаторы, 4 - токоподводы, 5 - жидкометаллические контакты.



токопроводов, стационарно заделанных в каналах, проходящих через защиту, крепится сборная шина с узким и длинным в направлении, перпендикулярном оси системы, каналом глубиной 20 мм, который заполняется жидким металлом. Вторая токосборная шина, закрепленная на токопроводах первичных обмоток трансформаторов, заканчивается вертикально расположенной широкой и тонкой пластиной, которая свободно опускается в зазор, заполненный жидким металлом. Такое выполнение контактов позволяет дистанционно юстировать всю систему по двум поперечным направлениям, перемещать ее в горизонтальной плоскости сдвигая магниты с оси, чтобы избежать излишнего облучения магнитов развертки при настройке и юстировке протонного пучка, и дистанционно отключать ее для эвакуации из радиационной зоны.

При расположении импульсных генераторов за защитой токопровода к магнитам должны иметь длину в несколько метров и также удовлетворять требованиям радиационной стойкости. Они могут выполняться в виде пяти или более параллельных коаксиальных линий, изготовленных на основе таких же керамических трубок, на которые снаружи надевается кабельная оплетка, а внутрь вставляется стержень диаметром 14 мм, имеющий на стыках трубок заниженный размер для обеспечения нужной высоковольтной прочности на поверхности керамики.

Погонная индуктивность каждой такой коаксиальной линии составит  $\sim 50$  нГн на метр, так что суммарная индуктивность токопроводов может составить 20+30 нГн. Если собственная индуктивность генератора не превысит 50+70 нГн, то полная паразитная индуктивность контура может составить 100+120 нГн, т.е. 20% от приведенной индуктивности нагрузки. Следовательно, при напряжении на магнитах  $\pm 4.5$  кВ рабочее напряжение генератора должно быть  $\sim 23$  кВ при коммутируемом токе 26 кА.

Примененный в данной схеме согласующий трансформатор безусловно представляет собой сложное устройство, более дорогостоящее, чем магниты, и его использование оправдано только в случае необходимости оптимизировать реактивную мощность генератора. Альтернативным вариантом является схема с непосредственной параллельной запиткой магнитов и изоляцией наружных оплеток токопроводов, что увеличивает долю паразитных индуктивностей и усложняет генератор необходимостью коммутации в 2 раза большего

тока.

Главной проблемой создания генератора, представляющего собой  $LRC$  разрядный контур с накопительной емкостью  $C = 1 \mu F$ , является выбор коммутирующего устройства на такую реактивную мощность. В качестве основного коммутирующего прибора в генераторе используется игнитронный разрядник ИРТ-6, который в режиме редких импульсов успешно применяется для коммутации токов в десятки килоампер при длительности импульсов в несколько десятков микросекунд. При переходе к длительности импульсов микросекундного диапазона ресурс разрядника увеличивается, однако основным фактором, ограничивающим его применение становится большая временная нестабильность срабатывания (паспортное значение  $\Delta t_3 = 100$  нсек), что затрудняет синхронизацию работы генераторов. Для ликвидации временной нестабильности мы применяем известный способ — включение параллельно игнитрону второго коммутатора с улучшенными временными свойствами, в качестве которого мы используем водородный тиратрон ТТИ-1-1000/25. При общем коммутируемом токе  $I_0 = 26$  кА тиратрон берет на себя малую его долю, определяемую временным разбросом срабатывания игнитрона  $\Delta t_3$ , максимальное значение которого составит  $I_m \leq I_0 \sin \frac{2\pi \Delta t_3}{T} = 0.12 I_0 \approx 3$  кА. После включения игнитронного разрядника он шунтирует тиратрон, что обусловлено значительно большим падением напряжения на разрядном промежутке последнего —  $\Delta V_T \sim 200+300$  В по сравнению с  $\Delta V_m = 15+30$  В — падением напряжения на игнитроне. В принципе такая параллельная работа вентиля, устраняя временную нестабильность запуска генератора, приводит к нестабильности амплитуды тока, поскольку при разбросе запуска игнитрона от импульса к импульсу тиратрон берет на себя различную долю тока, что означает и различную диссипацию энергии в контуре, разброс которой составляет  $\Delta W = \Delta V_T \int i(t) dt$ . Однако, при наших параметрах  $\Delta W \sim 3 \cdot 10^{-2}$  Дж, что при коммутируемой энергии  $W \sim 200$  Дж может привести к нестабильности тока всего лишь  $\Delta I/I \sim 10^{-4}$ .

Генератор собирается из 10 параллельно включаемых конденсаторов К75-22Б с номинальным напряжением 25 кВ и емкостью по  $0.1 \mu F$ . Главной задачей конструктивного выполнения генератора является обеспечение его минимальной собственной индуктивности, что достигается круговым размещением конденсаторов вокруг вентиля и тщательной коаксиальной ошиновкой всех элементов

с минимальными зазорами.

Выбор параметров описанных выше элементов и компоновки *sweeping*-системы был проведен на примере ее возможного применения для получения сепарированных вторичных пучков в программе УНК, рассмотренного во введении. Однако практическая ее разработка была предпринята для отработки метода развертки протонного пучка и изучения поведения тяжелых мишеней при различных параметрах фокусировки и плотностях энерговыделения, которую предполагается произвести на мишенном стенде ИФВЭ с 76-ти ГэВным протонным пучком при бустерной интенсивности. Схема этих экспериментов предполагается следующей. Фокусировка пучка на мишень будет осуществляться литиевой линзой с фокусным расстоянием  $F \leq 100$  см в размер порядка миллиметра. *Sweeping*-магниты с углом отклонения  $\alpha_s \leq 3 \cdot 10^{-3}$  располагаются перед линзой и, для уменьшения смещения пучка по апертуре линзы и его симметризации, будут включаться с чередованием магнитов вертикального и горизонтального отклонения. Максимальное смещение на мишени, которое обеспечивают магниты с рассмотренными параметрами, позволит иметь развертку пучка по окружности длиной  $\sim 20$  мм, т.е. получить скорость развертки  $\sim 4 \cdot 10^5$  см/сек, что приблизительно равно скорости звука в вольфраме и меди и превышает скорость звука в ряде тяжелых металлов. Как показано в работе /7/ при приближении скорости развертки к скорости звука в мишени должно проявляться аномальное поведение материала, связанное уже не с перегревом, а с резким повышением давления на фронте волны, движущейся перед пучком, что может приводить к механическому разрушению мишеней и служить ограничением в выборе режимов развертки. Поведение мишеней в таких режимах требует экспериментального исследования, так же как и отработка их конструкций и способов отвода выделяемой мощности.

Авторы выражают благодарность В.М.Барбашину и Т.В.Соколовой за конструкторскую разработку элементов рассмотренной системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Т.А.Всеволозская. NIM, 190 (1981) 479-486
2. Б.Ф.Баянов и др. "Система эффективной протон-антипротонной конверсии", Труды пятого Всесоюзного совещания по ускорителям. Дубна, 1976, т.П, стр.101.
3. Т.А.Всеволозская et al. "The proton beam sweeping-system for an antiproton target station using lithium lens" Fermilab TM-1048, 8055-000, June 1981
4. Т.А.Всеволозская и др. "Развертка протонного пучка для устранения эффектов теплового разрушения мишеней при работе с пучками высокой плотности", Труды восьмого Всесоюзного совещания по ускорителям. Протвино 1983, т.1, стр.317.
5. Design Report. Tevatron Phase I Project, Fermi National Accelerator Laboratory, Feb. 1980.
6. Б.Ф.Баянов и др. "Антипротонная мишенная станция на основе литиевых линз". Труды XI Международной конференции по ускорителям заряженных частиц высоких энергий. Женева, ЦЕРН, 1980, стр.362.
7. Т.А.Всеволозская. "Линейное приближение гидродинамического рассмотрения поведения мишеней, облучаемых интенсивным протонным пучком", Препринт ИЯФ 84-88.

Г.И.Сильвестров, А.Д.Чернякин

*Sweeping* - СИСТЕМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ПУЧКОВ  
С ВЫСОКОЙ ФАЗОВОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

Препринт  
№ 84-120

Работа поступила - 24 августа 1984 г.

---

Ответственный за выпуск - С.Г.Пепев  
Подписано к печати 13.9-84 г. МН 04539  
Формат бумаги 60x90 1/16 Усл.1,4 печ.л., 1,1 учетно-изд.л.  
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 120.

---

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90