

Увеличение радиального размера пучка при медленном выводе из У-70 и способ его минимизации

А.Г. Афонин, А.В. Максимов, С.В. Соколов
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Характерной особенностью ускорителя У-70 является значительная величина хроматичности (-16). Это обстоятельство приводит к тому, что в процессе медленного вывода сначала выводятся частицы с максимальными импульсами, и по мере вывода средний импульс выводимого пучка уменьшается. Изменение импульса выводимых частиц приводит, в свою очередь, к смещению в процессе вывода траектории пучка в радиальном направлении (эффект “пробежки” пучка) и значительному увеличению поперечных размеров. Величина этого эффекта определяется хроматичностью на плате магнитного поля У-70 и величиной забираемой из ускорителя интенсивности, так как $\Delta Q = X \cdot \Delta P/P$, где $\Delta P/P$ — импульсный разброс частиц в пучке, который в У-70 достигает величины $\pm 1 \cdot 10^{-3}$.

На рис.1 представлено расположение оборудования системы вывода, а также трассы различных режимов вывода. Среди них цифрами 4-1 обозначена трасса, о которой идет речь в нашем сообщении. С использованием автоматизированной системы управления [1], [2] было найдено решение, позволившее практически устранить данный эффект динамической корректировкой трассы вывода.

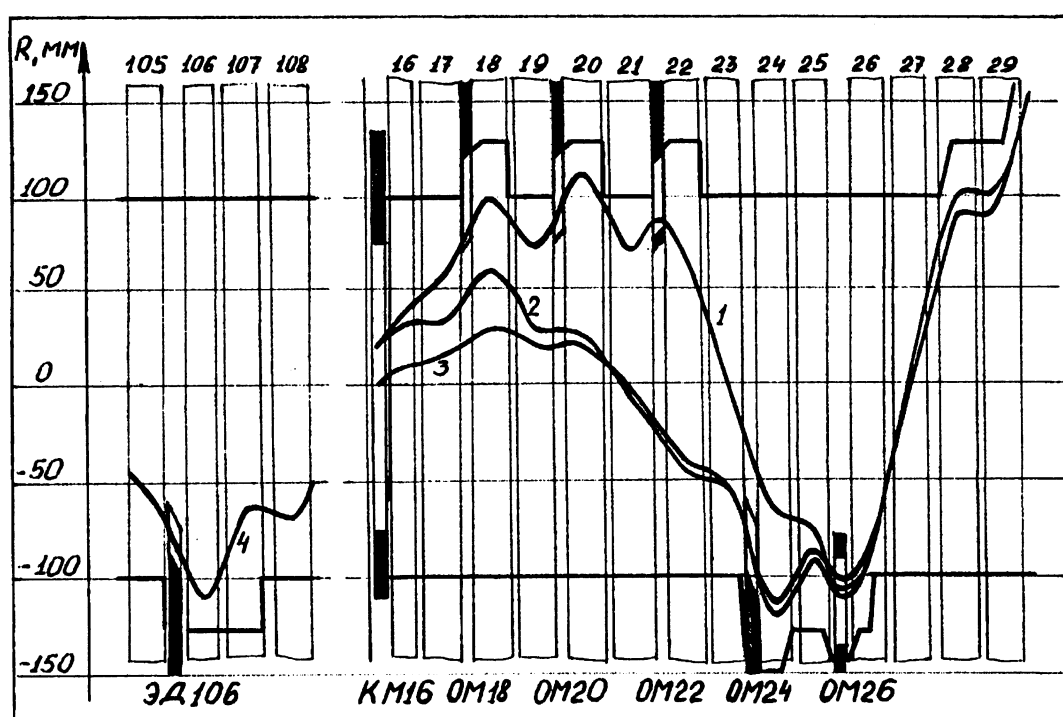


Рис. 1: Расположение оборудования и реализованные на У-70 трассы вывода.

Моделирование процесса проводилось с использованием численных программ расчета ВЕТА и STAR [3]. Программы позволяют моделировать процессы резонансной раскачки и транспортировки частиц в магнитной структуре У-70 с учетом нелинейностей магнитного поля ускорителя и режимов систем коррекции градиента и хроматичности.

Моделирование заключалось в том, что на первом этапе рассчитывался процесс резонансной раскачки ансамбля частиц для полного импульсного разброса частиц в пучке. В результате расчета вычислялось распределение интенсивности для заданных импульсов на головном элементе и фазовый портрет. На рис.2 представлено распределение интенсивности пучка по радиусу для двух значений импульса $\Delta P/P = \pm 1 \cdot 10^{-3}$ на азимуте электростатического дефлектора ЭД-106 (см. рис.1), далее рассчитывается эволюция фазовых портретов вдоль траектории вывода для всех азимутов, где находятся элементы вывода, до выходного окна ускорителя, расположенного в прямолинейном промежутке №30 (пп 30).

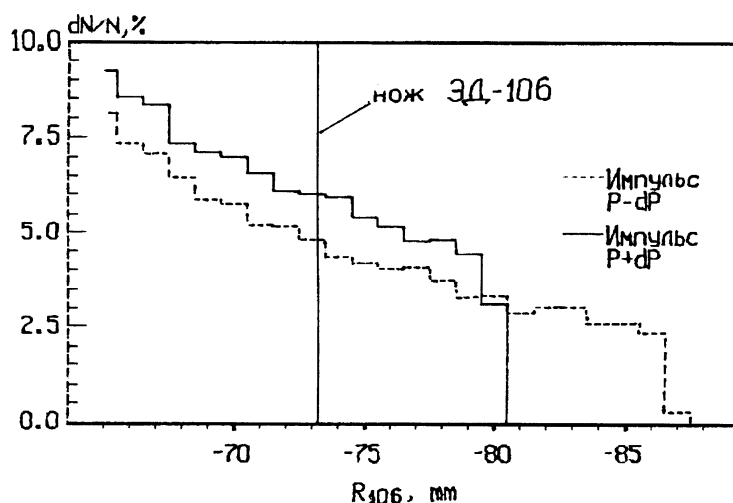


Рис. 2: Расчетное распределение плотности частиц в пучке в пп 106.

На рис.3 в качестве примера представлены фазовые портреты на входе в ОМ-22 (3а) и в выходном окне ускорителя (3б).

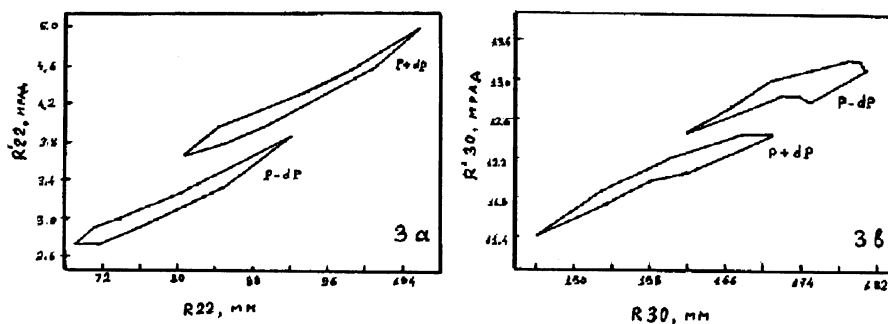


Рис. 3: Фазовые портреты пучка на входе ОМ-22 и в пп 30.

Из рис.3а видно, что величина смещения крайних частиц увеличивает размер пучка в данном месте в ≈ 1.5 раза. Расчетные величины смещения пучка для крайних значений импульсов $\Delta P/P = \pm 1 \cdot 10^{-3}$ в различных промежутках представлены в табл. 1.

Таблица 1:

№№ пп	20	22	26	30
ΔR	-6	-13	-11	+15

Что касается пп 30, то фактический размер пучка с учетом “пробежки” достигает 35 мм и занимает практически всю апертуру выходного окна и квадрупольной линзы, расположенной в пп 30.

Многоступенчатая система коррекции трассы представляет собой совокупность оборудования вывода и включает в себя две системы локального искажения орбиты (бампы), три выводных септум-магнита и выводной магнит, обеспечивающий вывод пучка из У-70, и его “посадку” на ось канала транспортировки. Один из двух бампов (полуволновой бамп 16/22) обеспечивает подведение пучка одновременно к двум септум-магнитам ОМ-18 и ОМ-20, другой бамп (18/30) обеспечивает коррекцию положения пучка на входе ОМ-20. Из всех совокупностей септум-магнитов используются ОМ-20; 22; 26. Таким образом обеспечивается коррекция положения пучка на входе всех септум-магнитов (18; 20; 22; 26), а также на выходе из ускорителя в пп 30 и, как уже сказано, с помощью выводного магнита ОМ-30 обеспечивается корректировка пучка в головной части канала транспортировки. Степень смещения пучка на каждом из интересующих нас азимутов ускорителя в зависимости от изменения токов в элементах системы вывода для полного режима характеризуется табл. 2.

Таблица 2:

Элемент	б16/22 $\Delta I=10A$	б18/30 $\Delta I=10A$	ОМ-20 $\Delta B=0.1T$	ОМ-22 $\Delta B=0.1T$	ОМ-26 $\Delta B=0.1T$
R пп 18, мм	2.5				
R пп 20, мм	3.7	3.0			
R пп 22, мм	4.5	6.5	15.0		
R пп 26, мм	2.0	0.0	11.0	-14.5	
R пп 30, мм	-7.5	-9.0	-26.0	13.0	17.0

В рамках действующей автоматизированной системы управления выводом [1], [2] предусмотрена возможность функционального управления группой источников питания оборудования вывода, имеется возможность задания в любом из выбранных источников питания кусочно-линейной функции с дискретностью задания узлов 100 мс при максимальной длительности импульса тока в 2 сек. Процедура оптимизации размеров пучка заключается в последовательном подборе функции тока конкретного источника по данным системы диагностики о размерах пучка в конкретной точке наблюдения,

величине потерь и полной эффективности вывода. Вычисление эффективности вывода происходит в течение всего времени медленного вывода также с дискретностью 100 мс и сопровождается построением графика эффективности на экране монитора [3]. Таким образом, имеется надежная и эффективная возможность оперативной оптимизации положения и размеров пучка вдоль трассы вывода при работе в длительных сеансах работы ускорителя.

Заключение. Данная методика используется на У-70 в течение ряда лет и продемонстрировала достаточную надежность в работе. В настоящее время на ускорителе ИФВЭ имеется возможность осуществлять процесс медленного вывода путем изменения основного магнитного поля (наведение полем). При этом существенно уменьшается смещение пучка в процессе вывода. Тем не менее необходимость коррекции трассы в процессе вывода токами выводных элементов остается. Мы планируем в дальнейшем в рамках модернизации системы управления выводом реализовать замкнутую цепь управления режимами элементов вывода по информации с приборов диагностики пучка.

Список литературы

- [1] Дильмухамедов Б.Б., Елин А.А., Каллистратов Е.Н. и др. — В сб.: Труды X совещания по ускорителям, Дубна, 1987, с.47.
- [2] Афонин А.Г., Присяжных С.Г., Соколов С.В. и др. — Препринт ИФВЭ 91-151, Протвино, 1991.
- [3] Дианов В.И. Программы “BETA”, “STAR”; Программы расчета и моделирования для ускорительной техники. — Сборник аннотаций, с.7; с.127, Москва, ИТЭФ, 1992; Computer Codes in Accelerator Domain. Int. Report DESY M-92-07, November 1992, p.6; p.60.