

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 79-102

ОНФ-ОМВТ

SERP-E-45

SERP-E-107

Б.С.Волков, В.И.Кочетков, В.И.Курбаков, А.В.Самойлов

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОТОННОГО ПУЧКА
НА НЕЙТРИННОМ КАНАЛЕ ИФВЭ

Серпухов 1979

Б.С.Волков, В.И.Кочетков, В.И.Курбаков, А.В.Самойлов

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОТОННОГО ПУЧКА
НА НЕЙТРИННОМ КАНАЛЕ ИФВЭ**

Аннотация

Волков Б.С., Кочетков В.И., Курбаков В.И., Самойлов А.В.

Автоматическая коррекция направления протонного пучка на нейтринном канале ИФВЭ. Серпухов, 1979.

10 стр. с рис. (ИФВЭ ОНФ-ОМБТ 79-102, SERP-E-45, SERP-E-107).

Библиогр. 5

Описан опыт по автоматизации коррекции направления протонного пучка на нейтринном канале ИФВЭ. Приведены обоснование схемы управления коррекцией, сведения о программе, управляющей коррекцией, а также обсуждены полученные результаты.

Abstract

Kochetkov V.I., Kurbakov V.I., Samoilov A.V., Volkov B.S.

Computer controlled correction of proton beam direction at IHEP neutrino beam line. Serpukhov, 1979.

p. 10. (IHEP 79-102, SERP-E-45, SERP-E-107).

Refs. 5.

Experience on computer controlled correction of proton beam direction at IHEP neutrino beam line has been described. Proof on correction layout and information about control program are given. The obtained results have been discussed.

На основании соотношений и рекомендаций, полученных в работе ^{/1/}, нами было проведено экспериментальное изучение возможности коррекции направления протонного пучка на канале №8 ^{/2/} с помощью ЭВМ ИР 2116В.

Выбор канала № 8 для этой цели объясняется следующими обстоятельствами: по каналу №8 необходимо транспортировать протонный пучок с интенсивностью вплоть до максимально достижимой на ускорителе ИФВЭ ($> 4,5 \cdot 10^{12}$ протонов в импульсе); протяженность трассы канала № 8 самая большая из всех трасс выведенных протонных пучков; канал № 8 – один из наиболее интенсивно используемых каналов ИФВЭ. Кроме этого, планируемое использование канала № 8 для транспортировки медленно выведенных протонов ^{/3/} требует тщательного изучения всех факторов, влияющих на эффективность транспортировки.

I. СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОРРЕКЦИЕЙ

На рис. 1 приведена оптическая схема канала, а также геометрия размещения и характеристики координатных дельта-камер. На момент создания и пуска канала (1974 г.) эта структура была достаточно мотивированной, хотя, с точки зрения позднейшего анализа, ^{/1/} она не является оптимальной. Поскольку данная структура допустима, а изменение ее связано с техническими трудностями, было решено не изменять сложившийся стереотип.

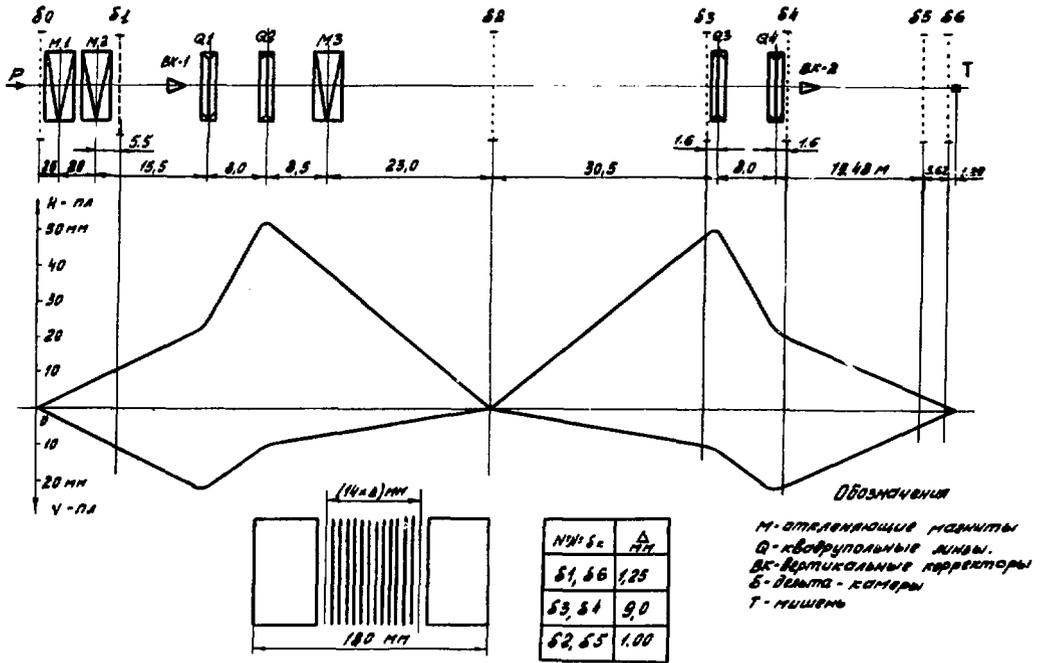


Рис. 1. Оптика, размещение оборудования и геометрия координатных дельта-камер канала № 8.

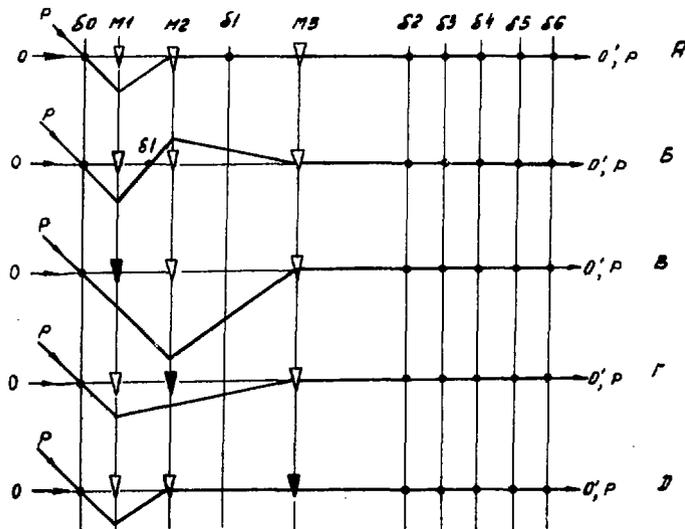


Рис. 2. Возможные схемы управления коррекцией направления протонного пучка на канале № 8.
 ∇ - магнит, поле в котором при коррекции не варьируется; $00'$ - ось канала; p - протонный пучок.

а). Горизонтальная плоскость.

На рис. 2 приведены возможные схемы управления коррекцией в горизонтальной плоскости. Имеющийся объем электроники и геометрия размещения дельта-камер позволяют осуществлять коррекцию по схеме 2а. Среднеквадратичные ошибки к поправкам напряжений на шунтах магнитов М1, М2, М3 составляют при этом 0,12, 0,46, 0,07% при значениях факторов корреляции, соответственно равных 5024, 5055, 18, и числе Тюринга $T_N = 10960$. Уровень этих погрешностей во много раз больше стабильности источников питания ($\sim 10^{-4}$) и не может быть уменьшен до приемлемой величины за счет усреднений показаний дельта-камер по разумному количеству циклов. Значения факторов корреляции и число Тюринга показывают, что только за счет округлений может теряться до четырех значащих цифр результата. Точность представления десятичных чисел на ЭВМ HP 2116 - 7 значащих цифр. По этим причинам необходимо либо воздержаться от коррекции по схеме 2а на данном канале, либо проводить расчеты с двойной точностью.

Схему 2б, где ситуация во много раз легче, по техническим причинам реализовать не удалось. Свойства возможных двухмагнитных схем коррекции (рис. 2в, 2г, 2д) приведены в табл. 1. За оценку устойчивости схем к различным возмущениям использовалось отношение среднеквадратичной ошибки

Таблица 1

Варируемые мгниты Номера исполь- зуемых камер	Среднеквадрат. ошибка σ значения U_i , %			Фактор корреляции ρ			Число Тюринга			$\sigma / \rho \cdot 10^{-4}$		
	$\bar{123}$	$\bar{123}$	$\bar{123}$	$\bar{123}$	$\bar{123}$	$\bar{123}$	$\bar{123}$	$\bar{123}$	$\bar{123}$	$\bar{123}$	$\bar{123}$	$\bar{123}$
2 3 4 5 6	0,18 0,03	0,07 0,02	0,11 0,13	5,39	1,33	3,07	73,0	42,0	6,46	3,10 0,63	5,28 1,22	3,49 4,21
3 4 5 6	0,18 0,03	0,08 0,02	0,11 0,13	5,32	1,32	3,07	71,7	41,0	6,42	3,24 0,61	5,32 1,22	3,49 4,26
3 4 6	0,18 0,03	0,08 0,02	0,11 0,13	4,77	1,18	2,46	70,6	41,2	5,00	3,85 0,65	6,39 1,39	4,43 5,37
3 4	2,78 1,25	1,17 1,62	3,90 12,1	126	209	2333	414	445	5877	2,26 1,00	0,57 0,78	0,16 0,51
3 5	0,18 0,03	0,08 0,04	0,18 0,32	1,63	1,06	5,45	10,5	6,00	9,91	10,7 2,92	6,72 3,61	2,87 5,88
3 6	0,19 0,06	0,08 0,02	0,11 0,13	4,91	1,19	2,47	73,3	42,6	5,07	3,80 0,68	6,45 1,39	4,47 5,37
4 5	0,83 0,23	0,38 0,12	0,79 1,02	39,8	9,55	41,0	283	161	98,9	3,75 0,68	4,01 1,27	1,83 2,49
4 6	1,00 0,17	0,41 0,05	0,57 0,39	1,27	10,3	14,6	2097	1227	94,6	0,80 0,15	4,02 0,49	2,82 2,00

напряжений на шунтах магнитов к фактору корреляции. Этот параметр имеет в среднем минимальное значение для схемы $\bar{1}23$ (здесь и далее выделены номера тех магнитов, которые не участвуют в коррекции), которая и была выбрана в качестве основной.

б). Вертикальная плоскость

Так как вертикальные корректоры не перекрывают всю трассу канала № 8, то центровка пучка в этой плоскости осуществлялась вертикальными корректорами, размещенными на участке вывода В^{4/}. При этом из трех возможных комбинаций – $\bar{1}23$, $1\bar{2}3$, $12\bar{3}$ – наиболее устойчивой является первая.

II. ПРОГРАММА КОРРЕКЦИИ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОТОННОГО ПУЧКА

Работа программы коррекции происходит под контролем мониторной программы системы on-line обработки экспериментальной информации установки "Нейтрино"^{5/}.

Процесс коррекции состоит в нахождении тех значений поправок x_1, x_2, x_3 к исходным показаниям цифрового вольтметра U_{01}, U_{02}, U_{03} , при которых принимает минимальное значение функционал Φ :

$$\Phi = \sum_{i=1}^n W_i \left(\frac{R_{i\text{теор}} - R_{i\text{эксп}}}{S_i} \right)^2,$$

где n – количество дельта-камер; W_i – весовой множитель; S_i – погрешность в определении положения центра тяжести пучка i -ой камеры;

$R_{i\text{эксп}}$ – измеренное положение центра тяжести пучка при данном значении полей U_1, U_2, U_3 ; $R_{i\text{теор}}$ – предполагаемое положение центра тяжести пучка,

представленное функцией $R_{i\text{теор}} = R_{0i} + \frac{\partial R_i}{\partial U_1} x_1 + \frac{\partial R_i}{\partial U_2} x_2 + \frac{\partial R_i}{\partial U_3} x_3$ $\left(\frac{\partial R_i}{\partial U_k} - \right.$

производные, характеризующие зависимость положения центра тяжести пучка от значения полей U_k); R_{oi} - желательное положение пучка.

Кроме реализации алгоритма коррекции в программе предусмотрены следующие оперативные возможности:

- изменение номера фиксированного магнита;
- изменение веса показаний той или иной дельта-камеры путем изменения значения весового множителя W_i ($W_i = 0$ означает, что данная камера исключена из анализа);
- изменение количества циклов для усреднения показаний дельта-камер;
- изменение конкретной привязки R_{oi} к оси канала;
- изменение величин производных для перехода к другим значениям импульса транспортируемых частиц;
- изменение плоскости, в которой осуществляется коррекция.

Поправки к режимам магнитов усредняются по заданному количеству циклов работы ускорителя и могут выводиться либо на сервомеханизмы источников питания, либо на печатающее устройство. В последнем случае печатаются исходное и требуемое значения режимов, абсолютная и относительная величины поправок. На основании получаемой информации принимается решение о необходимости включения или выключения режима коррекции (одним из ключей тумблерного регистра ЭВМ).

III. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОГРАММЫ

Возможность коррекции направления протонного пучка с помощью программы изучалась в течение трех сеансов 1978 года. Была исследована скорость сходимости процесса коррекций в зависимости от того, какие магниты и дельта-камеры участвовали в коррекции, и в зависимости от степени расстройки канала по оптике (так как для производных брались значения, получающиеся при настроенном по оптике режиме канала). Как и ожидалось, наиболее быстрым и устойчивым был процесс коррекций в случае работы с

вариантом $\bar{1} \ 2 \ 3$. Варианты $\bar{1}2\bar{3}$ и $1\bar{2}\bar{3}$ иногда не давали быстро сходящегося процесса, так как в зависимости от степени расстройки оптики канала некоторые производные меняли знак. Например, при работе в одном из наиболее сложных случаев ($\bar{1}2\bar{3}$ -магниты, (34)-камеры) и при таком исходном смещении пучка, когда он касался только крайних электродов этих камер, пучок появлялся в пределах зоны, контролируемой камерой 5, после 8-й итерации, и был центрирован по всему набору камер (23456) лишь после 11-й итерации.

В табл. II показан типичный ход итераций в следующем случае: магниты - $\bar{1}2\bar{3}$, камеры - (3456). В исходном состоянии пучок "виден" только на дельта-камерах 3 и 4.

Таблица II

№№ итерации	$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	Примечания
0	0,7400	0,3705	0,4251	Исходный режим
1	0,7400	0,4144	0,4126	
2	0,7400	0,4061	0,4081	Пучок "виден" на всех дельта-камерах
3	0,7400	0,3946	0,4086	Пучок практически центрирован
4	0,7400	0,3945	0,4094	
5	0,7400	0,3934	0,4099	Конец центровки
6	0,7400	0,3936	0,4100	

Использование метода наименьших квадратов для обработки координатной информации позволяет судить о совершенстве геодезической юстировки дельта-камер путем изучения качества центровки пучка (величина функционала Φ) в зависимости от количества подключенных дельта-камер. Так, например, центровка пучка только по камерам (3456) показывает, что пучок проходит через центры этих камер с точностью до 0,1 - 0,3 мм, будучи при

этом смещенным относительно центра дельта-камеры 2 на 6 мм. Включение комбинации (23456) приводит к резкому увеличению функционала Φ и к общему перекосу пучка (несоосность его достигает 2 - 3 мм), тем самым однозначно указывая на то, что 2-я дельта-камера смещена относительно оси канала.

Авторы благодарят оперативный персонал канала № 8 за помощь в работе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б.С.Волков и др. Препринт ИФВЭ 78-108, Серпухов, 1978.
2. Д.Г.Баратов и др. Препринт ИФВЭ 76-86, Серпухов, 1976.
3. К.П.Мызников и др. Препринт ИФВЭ 70-79, Серпухов, 1970.
4. А.Г.Афонин и др. Препринт ИФВЭ 76-85, Серпухов, 1976.
5. А.П.Бугорский и др. Препринт ИФВЭ 78-94, Серпухов, 1978.

Рукопись поступила в издательскую группу
29 июня 1979 года.



Цена 5 коп.

© - Институт физики высоких энергий, 1979.

Издательская группа И Ф В Э

Заказ 731. Тираж 240. 0,4 уч.-изд.л. Т-11951.

Июль 1979. Редактор В.В. Герштейн.