

A 71-10.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Препринт #102

Вербицкий Г.Б., Джилавян Л.З., Захаров В.Н.,
Каренов М.А., Карпов М.В., Кондратьев Р.Л.,
Мельников В.В., Обозный В.А., Пonomарев В.Н.,
Соловьев Г.Н., Чалый В.Д., Яценко В.И.

РЕГУЛИРОВКА ФОКУСИРУЮЩИХ КАТУШЕК ИНЖЕКТОРНОЙ
СЕКЦИИ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ
МЕТОДОМ КРУТОГО ВОСХОЖДЕНИЯ.

*Regulation, by the steep rise method,
of the focussing coils in the injector
section of an electron linac*

VERBITSKIJ G.B., DZHILAVYAN L.Z., ZAKHAROV V.N.,
KARENOV M.A., KARPOV M.V., KONDRAT'EV R.L.,
MEL'NIKOV V.V., OBOZNYJ V.A., PONOMAREV V.N.,
SOLOV'EV G.N., CHAL'J V.D., YATSENKO Yu.I.

Москва - 1971

опубликована совместно с МИФИ, каф "Электронные
вычислительные машины".

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00062610

Для фокусировки электронного пучка в инжекционной секции линейных электронных ускорителей используются толстые соленоидальные линзы [1]. Очень важно обеспечить их согласность с диафрагмированным волноводом инжекционной секции. Это позволит получить наибольший ток из инжекционной секции при наименьших радиальных размерах пучка. Такое улучшение характеристик пучка из инжекционной секции приведет к следующим результатам:

1. Увеличению выходного тока ускорителя за счет:
а/ большего инжекционного тока в случае, если не достигается критический ток, при котором происходит урочение импульса тока;

б/ возможного увеличения критического тока [2] из-за лучшей паракоиальности пучка ускорителя;

в/ такого увеличения плотности тока из инжектора, при котором возможна коллимация пучка, приводящая к увеличению критического тока.

2. Увеличению стабильности параметров пучка при различных режимах работы инжекционной секции.

3. Увеличению энергии выходного пучка ускорителя благодаря меньшему подсаживанию секций частью пучка, который садится на диафрагмах ускорителя.

4. Возможному сужению энергетического спектра за счет прохождения пучка в приосевой более однородной области поля ускорителя.

5. Уменьшению фона от ускорителя и систем транспортировки пучка, а также уменьшению энергий фоновых γ -квантов до энергии на выходе инжекционной секции $3 + 3,5$ Мэв, что ниже порогов фотоядерных реакций.

6. Увеличению выхода вторичных частиц, например, позитронов.

Существующие методы юстировки фокусирующих катушек сводились в основном к методу поочередного изменения переменных, задающих положение катушек. При этом результаты юстировки оценивались либо по выходному току из инжекторной секции, положению и размерам пятна [3], либо по измерению радиальной составляющей магнитного поля внутри инжекторной секции [4]. Такая процедура является весьма трудоемкой и не всегда приводит к нужным результатам [3].

В данной работе для решения этой задачи предлагается использовать метод крутого восхождения. Основная идея метода заключается в том, что вначале ставится серия опытов для локального описания небольшого участка поверхности отклика полинома первой степени:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k,$$

где b_i - коэффициенты регрессии;

x_i - независимые переменные.

Далее производится движение по поверхности отклика в направлении градиента линейного приближения.

Известно, что градиент функции отклика задается выражением

$$\vec{\text{grad}} y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \vec{x}_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \vec{x}_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_k} \vec{x}_k,$$

где $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_k$ - единичные векторы орты в направлении координатных осей. Предполагается, что функция y непрерыв-

на, однозначна и не имеет особых точек. Из векторного анализа известно, что движение в направлении градиента — это движение по кратчайшему, наиболее крутому пути. Если поверхность отклика локально может быть описана линейным уравнением, то частные производные будут равны коэффициентам регрессии. В этом случае для движения по поверхности отклика в направлении крутого восхождения нужно будет независимые переменные изменить пропорционально величине соответствующих коэффициентов регрессии с учетом их знака. При постановке экспериментов всегда приходится переходить к натуральным переменным. В натуральных переменных величина шага должна быть пропорциональна произведению b_i на единицу варьирования.

Решение поставленной задачи истировки фокусирующих катушек инжекторной секции проводилось для каждой катушки в отдельности. Линейная модель положения пучка для каждой катушки может быть представлена в виде:

$$r^2 = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 ,$$

где r^2 — квадрат расстояния от центра диафрагмы до центра пучка ;

x_1, x_2 — вертикальные перемещения катушки ;

x_3, x_4 — горизонтальные перемещения.

Для получения такой математической модели был использован дробный факторный эксперимент типа 2^{4-1} . Матрица планирования модели положения пучка для одной из катушек приведена в таблице I.

Кодовое обозначение переменных	X_1	X_2	X_3	X_4	ζ^2 [мм ²]
Основной уровень	0	0	0	0	
Интервал варьирования	I	I	I	I	
Верхний уровень	+I	+I	+I	+I	
Нижний уровень	-I	-I	-I	-I	
Опыт	№ 1	-	-	-	110,4
Опыт	№ 2	+	-	+	169,0
Опыт	№ 3	-	+	+	86,6
Опыт	№ 4	+	+	-	121,0
Опыт	№ 5	-	-	+	151,3
Опыт	№ 6	+	-	+	169,0
Опыт	№ 7	-	+	-	81,0
Опыт	№ 8	+	+	+	136,6

В первых строках таблицы записаны: уровни изменения переменных, интервал варьирования, а также кодовые обозначения переменных. Приведена также матрица планирования. Результаты эксперимента фотографировались на фотобумаге, и по фотографиям определялись значения ζ^2 .

В результате проведения эксперимента по матрице планирования (таблица 1) и расчета коэффициентов уравнения регрессии была получена следующая модель положения пучка:

$$\zeta^2 = 128 + 20,8 X_1 - 21,5 X_2 + 6,35 X_3 + 7,8 X_4$$

На основании полученной модели были рассчитаны шаги для каждой переменной, а также определены направления их изменения. Результаты расчета и проведения экспериментов сведены в таблице 2, где значения переменных даны в единицах перемещения.

Таблица 2

Кодовое обозначение переменных		X_1	X_2	X_3	X_4	γ^2
Шаг изменения переменных [мм]		21,2	22,0	7,2	8,6	[мм ²]
Опыт	№ 1	0	0	0	0	110
Опыт	№ 2	-21,2	+22,0	-7,1	-8,6	20,0
Опыт	№ 3	-10,6	+11,0	-3,55	-4,3	1,0
Опыт	№ 4	- 2,1	+2,2	-0,71	-0,86	0,0

Движение в направлении, обратном градиенту функции отклика γ^2 , производилось с переменным шагом, что позволило точнее произвести юстировку катушки. При этом был получен максимальный ток пучка на выходе инжекторной секции. На рис. I представлены фотографии результатов пошагового изменения переменных.

а) Начальное положение пучка ; б), в), и г) -- положение пучка после 1, 2 и 3 шагов, соответственно.

Аналогичная работа была проделана с остальными катушками.

В результате использования метода экстремального планирования эксперимента для юстировки фокусирующих катушек инжекторной секции было достигнуто совпадение центров пучка и выходной диафрагмы с точностью измерений. При этом процедура юстировки одной катушки занимала время порядка двух часов.

В дальнейшем метод экстремального планирования эксперимента будет использован для юстировки магнитов и линз системы формирования пучков на ЛУЭ - 50 лаборатории фотоядерных реакций ФИ АН СССР.

Литература

1. А.И.Ахиезер, Г.Я.Любарский, А.Э.Паргаманик
"Теория и расчет линейных ускорителей". Сб. статей,
М., 1962 г.
2. Г.В.Воскресенский, Ю.Н.Серебряков
В сб. "Ускорители" вып. X, М., Госатомиздат, 1968г.
3. О.А.Вальднер, А.А.Глазков, Е.Г.Пятнов, В.Д.Селезнев
В сб. "Ускорители" вып. V, М., Госатомиздат, 1963 г.
4. Г.К.Демьяненко. Вопросы формирования электронного пучка в многосекционном линейном ускорителе
ФТИ АН УССР, Харьков, 1968 г. (диссертация).
5. В.В.Налимов, Н.А.Чернов "Статистические методы планирования экспериментов", М., "Наука", 1965 г.

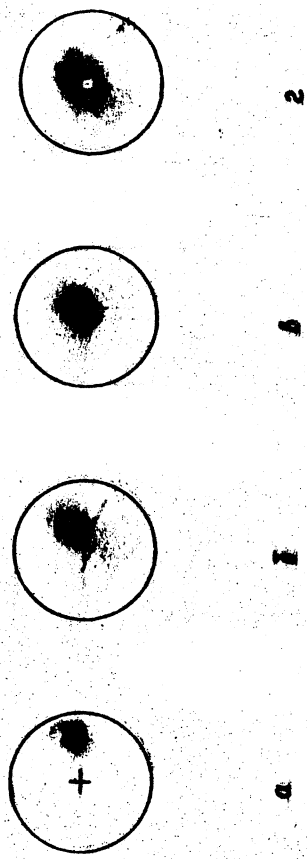


Рис. 1. Фотографии положения пучка на конце инъекторной секции.