

Оптимизация параметров согласующего канала ускорителя “Истра-36”

И.А. Воробьёв, С.А. Высоцкий

ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия

В ИТЭФ ведутся работы по созданию нейтронного генератора [1]. В качестве драйвера предполагается использовать существующий линейный ускоритель протонов “Истра-36”. Проводится модернизация ускорителя с целью увеличения среднего тока пучка до 0.5 мА, для этого разрабатывается источник протонов, работающий на частоте 25 Гц. Требовалось на ранних этапах проектирования определить технические параметры канала транспортировки пучка от вновь создаваемого источника протонов к существующей ускоряющей секции ПОКФ. Длина тракта составляет 2,8 м. Ожидаемые на выходе из источника (ИИ) и требуемые на входе в секцию с ПОКФ параметры пучка (табл. 1): ток пучка 300 мА, энергия частиц 100 кэВ, диаметр пучка 20 мм, нормализованный эмиттанс 0.2 см·мрад, угол наклона огибающей пучка 100 мрад. Была выбрана конструкция согласующего канала с двумя соленоидами (рис. 1). Подобная конструкция применена в ускорителе LEDA (Los Alamos) [2].

Таблица 1: Характеристики пучка.

Параметры пучка	Истчник (ИИ)	Вход ПОКФ
Ток пучка (мА)	300	300
Энергия частиц (кэВ)	100	100
Диаметр пучка R_0 (мм)	20	20
Нормализованный эмиттанс V_n (см·мрад)	0,2	0,2
Угол наклона огибающей пучка, R_0 (мрад)	100	100

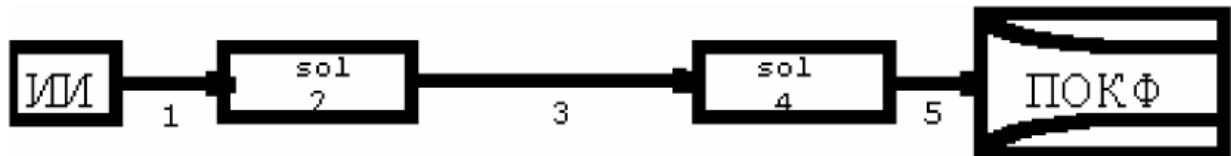


Рис. 1: Канал согласования ионного источника ИИ с секцией ПОКФ (sol 2, sol 4 — соленоиды; 1, 3, 5 — дрейфовые промежутки).

Для моделирования движения заряженных частиц через оптические элементы канала нам были доступны программы: TRANSPORT [3], GIOSP [4,5], TRACE 3-D [6], Preinj [7], разработанные в CERN и существенно модернизированная в ИТЭФ.

Эти программы позволяют выполнять расчёты в приближении параксиального пучка [8, 9], при этом используется модель, согласно которой в начальный момент времени ступки частиц представляют собой равномерно заряженные трехосные эллипсоиды, оси которых параллельны координатным осям, а центры совпадают с равновесными частицами.

Программы, позволяющие рассматривать отклоняющие системы без ускорения (например, GIOSP), требуют задания поперечных фазовых характеристик пучка: проекций эллипсоида на фазовые плоскости X, P_x, Y, P_y (вместо проекций импульса P_x, P_y часто

требуется задать угол траектории с осью системы $P_x = X'P_z$, $P_y = Y'P_z$ — эллипсов, уравнения которых имеют вид

$$\begin{aligned}\gamma_x X^2 + 2\alpha_x X X' + \beta_x (X')^2 &= \epsilon_x, \\ \gamma_y Y^2 + 2\alpha_y Y Y' + \beta_y (Y')^2 &= \epsilon_y,\end{aligned}\quad (1)$$

где $\epsilon_{x,y}$ — площади эллипсов, делённые на π . Полезно отметить, что радиус R_0 и угол наклона R'_0 огибающей пучка связаны с параметрами эллипсов $\beta_{x,y}$, $\alpha_{x,y}$ [10] соотношениями

$$\alpha_{x,y} = -\frac{R_0 R'_0}{\epsilon_{x,y}}; \quad \beta_{x,y} = \frac{R_0^2}{\epsilon_{x,y}}. \quad (2)$$

Программы, позволяющие проводить трёхмерный анализ движения частиц (в частности, TRACE 3-D), требуют задания ещё и продольных фазовых параметров пучка на плоскости $\Delta Z = Z - Z_s$, $\Delta P = P - P_s$ (Z_s , P_s — координата и импульс синхронной частицы). В некоторых программах требуется задание продольного движения пучка в координатах $\Delta\phi$, ΔW (ϕ — фаза частицы и W — её энергия). Координаты Z и ϕ [11] связаны выражением

$$\Delta\phi = \frac{2\pi\Delta z}{\beta_s \lambda}, \quad (3)$$

а связь импульса P и энергии частиц W даётся [6] релятивистским соотношением

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\gamma}{\gamma + 1} \cdot \frac{\Delta W}{W}. \quad (4)$$

В результате сравнения функциональных возможностей программ [12] нами была выбрана для расчётов свободно распространяемая программа TRACE 3-D. Эта программа с 1973 года в результате серии редакций превратилась в хорошо отлаженную и проверенную в ряде разработок интерактивную программу, позволяющую моделировать трёхмерные пучки с учётом пространственного заряда.

В различных ускорительных центрах создаются программы расчёта транспортных и согласующих каналов с различными функциональными возможностями. К сожалению, их разработчики не полностью учитывали предыдущий опыт и не проводили достаточный анализ достоинств и недостатков имеющихся программ, в связи с чем не всегда удаётся найти требуемый программный продукт, обладающий необходимой функциональной гибкостью и позволяющий наращивать новые типы структурных элементов.

В результате проделанной оптимизации определены величины дрейфовых промежутков: 1 — 400 мм, 3 — 1820 мм, 5 — 180 мм; длины соленоидов: sol 2, sol 4 по 200 мм каждый (см. рис. 1) и поля в них: 0,354 и 0,388 Тл соответственно. На рис. 2 представлены огибающие пучка и его фазовые характеристики, полученные для выбранной конструкции канала. Эти результаты не учитывают реального распределения полей в соленоидах и возрастания фазового объёма пучка в процессе транспортировки. Для более точного расчёта необходимо использовать программы, позволяющие моделировать реальные пучки и поля, например PROTON [13], OPERA [14].

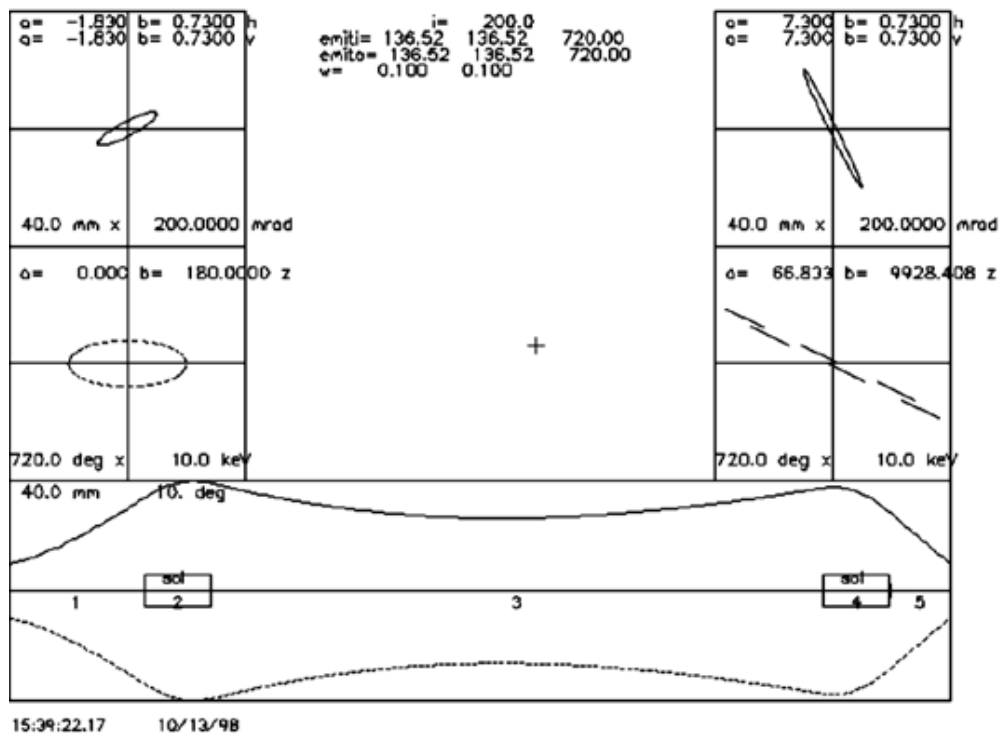


Рис. 2: Огибающие согласованного пучка и его фазовые характеристики.

Авторы выражают благодарность А.А.Коломийцу за обсуждение работы и сделанные полезные замечания.

Список литературы

- [1] Chuvilo I.V., Katz M.M., Kozodaev A.M., Kolomiets A.A., Lazarev N.V., Plotnikov V.K., Shimchuk G.G., Shvedov O.V. Proton 36 MeV, 0.5 mA linac Istra-36 as a driver of multipurpose irradiation test facility. 8th European Particle Conference — EPAC96. — Barcelona, (Spain), 1996, v.3, p.2674-2676.
- [2] Hansborough L.D., Hodgkins D.J. et al. Mechanical Engineering of a 75-keV Proton Injector for the Low-Energy Demonstration Accelerator. // Particle Accelerator Conf. Vancouver, B.C., Canada, 1997.
- [3] Brown K.L., Carey D.C., Iselin C. and Rothacher F. CERN-Rep. (1980), 80-04.
- [4] Wollnik H., Brezina J., Berz M. // Proc. AMCO-7, GSI-Rep. THD-26 (1984), 679.
- [5] Wollnik B., Brezina J., Berz M. // Nucl. Instrum. and Meth. A258 (1987), 408.
- [6] Crandall K.R. Trace 3-D Documentation, Los Alamos National Lab., LA-UR-90-4146.
- [7] Воробьев И.А., Капчинский И.М., Козодаев А.М., Коломиец А.А., Липкин И.М. Основные физические параметры протонного линейного ускорителя “Истра-56” (Часть-II). — Препринт ИТЭФ, Москва, 1989, № 158.
- [8] Лоусон Дж.. Физика пучков заряженных частиц. М.: Мир, 1980.
- [9] Теория и расчёт линейных ускорителей. Сб. статей ФТИ АН УССР. — М.: Госатомиздат, 1962.
- [10] Капчинский И.М. Теория линейных резонансных ускорителей. — М.: Энергоиздат, 1982.
- [11] Власов А.Д.. Теория линейных ускорителей. — М.: Атомиздат, 1965.
- [12] Воробьев И.А., Высоцкий С.А. Оптимизации согласующего канала ускорителя “Истра-36”. Программы расчёта. — М.: 1998, № 2.
- [13] И.А.Воробьев и др. Численное моделирование динамики пучка в ускорителе ИТЭФ с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой. — Препринт ИТЭФ, Москва, 1986, № 52.
- [14] Opera-3d Reference Manual. VF-05-96-D4. Vector Fields Limited, 24 Bankside Kidlington, Oxford OX5 1JE, England.