

УДК 621.384.644

ОПТИМИЗАЦИЯ КАНАЛОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКОВ С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗБРОСА

В. С. Александров, Н. Ю. Казаринов, В. Ф. Шевцов, Г. Д. Ширков

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Разработана программа, предназначенная для оптимизации каналов транспортировки интенсивных пучков заряженных частиц с учетом продольного импульсного разброса. Программа основана на существующей библиотеке программ расчета динамики пучков заряженных частиц в каналах транспортировки [1–3] и дополнена функцией учета продольного импульсного разброса. Проведен расчет канала транспортировки для прикладных исследований ДЦ-60 применительно к ионам с отношением атомного номера A к зарядности Z , равным 12.

The program for optimization of transportation line parameters for beams with large space charge is presented. It is based on existing program library intended for calculation of charged particles dynamics in transportation channels [1–3]. The possibility to take into account the longitudinal momentum spread is added to the last version of the program. The calculation of a transportation channel for applied investigations of the DC-60 cyclotron is carried out for ions with relation of atomic mass to charge equal to 12.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Программа оптимизации параметров каналов транспортировки основана на методе моментов функции распределения. Первые моменты описывают координаты и скорости центра масс пучка, вторые определяют его среднеквадратичные размеры. Уравнения для моментов учитывают влияние сил пространственного заряда пучка. В отличие от работы [1] уравнения, описывающие динамику моментов функции распределения, дополнены уравнениями, описывающими изменение дисперсионных функций и их производных вдоль канала транспортировки:

$$\frac{d^2\psi}{ds^2} = B\psi + A\psi' + K, \quad (1)$$

где

$$\psi = \begin{pmatrix} \psi_x \\ \psi_y \end{pmatrix}, \quad \psi' = \begin{pmatrix} \psi'_x \\ \psi'_y \end{pmatrix}, \quad \psi_x = \frac{\left\langle x \frac{\Delta p}{p} \right\rangle}{\left\langle (\Delta p/p)^2 \right\rangle}, \quad \psi_y = \frac{\left\langle y \frac{\Delta p}{p} \right\rangle}{\left\langle (\Delta p/p)^2 \right\rangle},$$

$$\psi'_x = \frac{\left\langle x' \frac{\Delta p}{p} \right\rangle}{\left\langle (\Delta p/p)^2 \right\rangle}, \quad \psi'_y = \frac{\left\langle y' \frac{\Delta p}{p} \right\rangle}{\left\langle (\Delta p/p)^2 \right\rangle}.$$

Здесь $\Delta p/p$ — продольный импульсный разброс; значок $\langle \rangle$ обозначает среднее значение; ρ — радиус кривизны траектории. В уравнениях работы [1] среднеквадратичные размеры пучка заменены в соответствии со следующими соотношениями:

$$\langle x^2 \rangle \rightarrow \langle x^2 \rangle + \left(\psi_x \frac{\Delta p}{p} \right)^2, \quad \langle y^2 \rangle \rightarrow \langle y^2 \rangle + \left(\psi_y \frac{\Delta p}{p} \right)^2, \quad \langle xy \rangle \rightarrow \langle xy \rangle + (\psi_x \psi_y) \left(\frac{\Delta p}{p} \right)^2. \quad (2)$$

Матрицы A и B в (1) определяются внешними и собственными электромагнитными полями и совпадают с приведенными в работе [1], а K — кривизна траектории центра масс пучка:

$$K = \begin{pmatrix} 1/\rho_x \\ 1/\rho_y \end{pmatrix}.$$

2. РАСЧЕТ КАНАЛА ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЦИКЛОТРОНА ДЦ-60

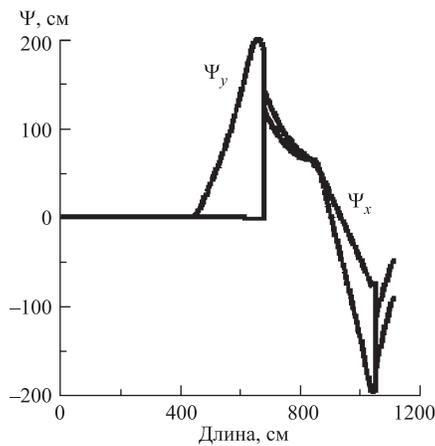


Рис. 1. Дисперсионные функции $\Psi_{x,y}$

В качестве примера рассмотрен расчет канала транспортировки пучков для прикладных исследований циклотрона ДЦ-60 для ионов с $A/Z = 12$; энергия инжекции $U_{inj} = 12,5$ кВ, среднеквадратичный эмиттанс пучка $\varepsilon_{rms} = 0,0042$ см, ток пучка $I = 100$ мкА.

На рис. 1 показаны дисперсионные функции $\Psi_{x,y}$ в канале.

Как видно из рисунка, максимальное значение дисперсионных функций достигает 2 м и при больших импульсных разбросах вклад импульсного разброса в размеры пучка может стать существенным. Это иллюстрируется рис. 2, 3, где показаны среднеквадратичные размеры пучка, определенные согласно формулам (2), для импульсных разбросов 0 и 1% соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана программа оптимизации каналов транспортировки интенсивных пучков заряженных частиц с учетом продольного импульсного разброса. В отсутствие пространственного заряда пучка результаты расчетов совпадают с полученными с помощью известных программ TRANSPORT и MAD.

Импульсный разброс частиц приводит к увеличению размеров пучка в каналах, содержащих поворотные магниты, и должен учитываться при выборе апертур элементов канала.

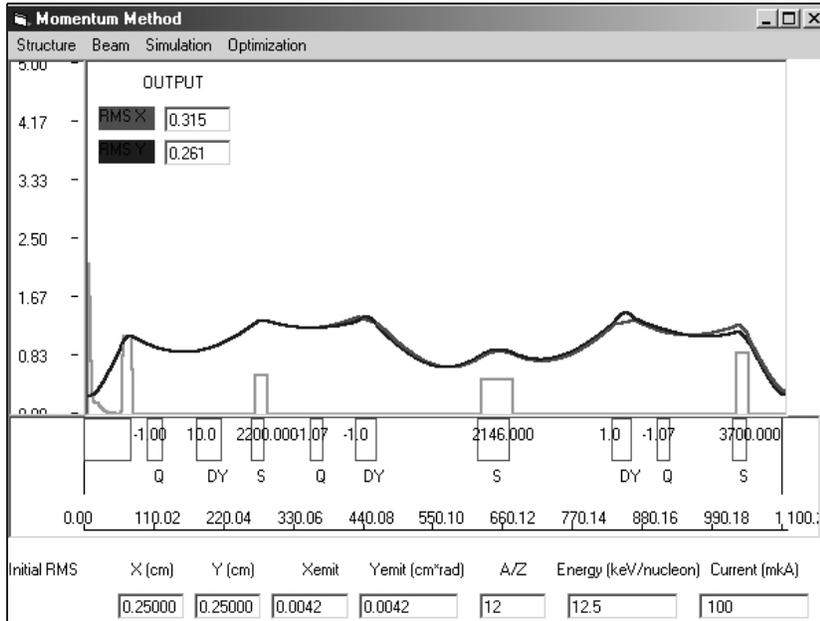


Рис. 2. Среднеквадратичные размеры пучка для $\Delta p/p = 0\%$

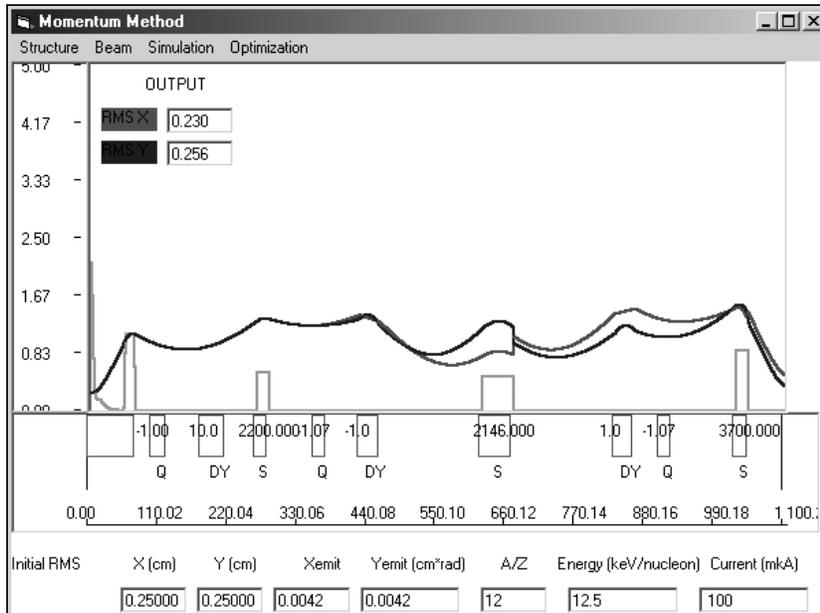


Рис. 3. То же, что на рис. 2, для $\Delta p/p = 1\%$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kazarinov N. Yu., Perelstein E. A., Shevtsov V. F.* Moment method in Charged Particle Beam Dynamics // Part. Accel. 1980. V. 10, No. 3/4. P. 181–195.
2. *Alexandrov V. S. et al.* Optimization of transportation channel parameters for beams with large space charge // Proc. of the Third Intern. Symp. on Pulsed Power and Plasma Applications, Mianyang, China, Oct. 22–26, 2002. P. 75–78.
3. *Казаринов Н. Ю., Шевцов В. Ф.* Оптимизация параметров каналов транспортировки пучков с большим пространственным зарядом. Препринт ОИЯИ Р9-2002-148. Дубна, 2002.