

Формирование пучков ионов углерода для медицинского облучательного центра ИФВЭ

А.С. Гуревич, Ю.Г. Каршев, В.И. Столповский, Е.Ф. Троянов, Ю.С. Федотов
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

В данной работе представлена система каналов пучков ионов углерода для организации медицинского облучательного центра ИФВЭ. Описывается канал инжекции из линейного ускорителя И-100 в бустер, экспериментальный канал для проведения исследовательских работ и канал для облучения пациентов ионами C_{12}^{+6} энергией 420 МэВ/нуклон. Приводятся магнито-оптические структуры и трассы этих каналов, огибающие пучков и дисперсионные функции.

1. Канал инжекции пучка ионов углерода в бустер

Общая схема расположения каналов медицинского облучательного центра ИФВЭ показана на рис.3 в докладе [1]. Структура канала транспортировки ионов C_{12}^{+6} из линейного ускорителя И-100 в бустер показана на рис. 1.

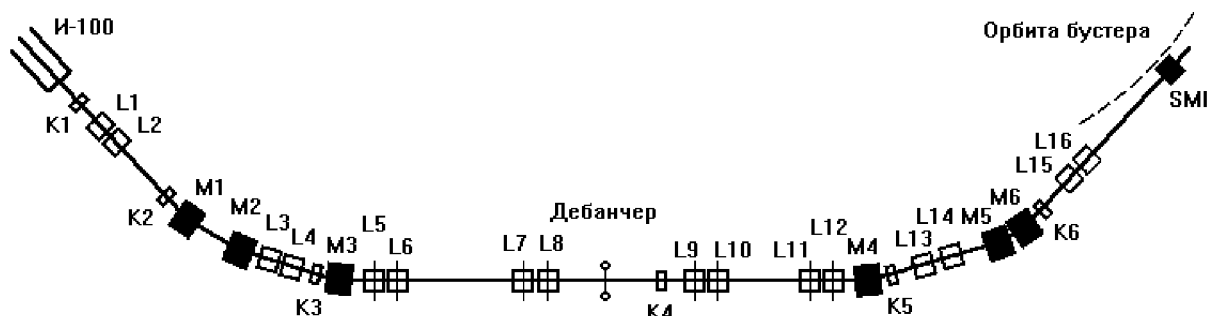


Рис. 1: Канал инжекции пучка ионов углерода в бустер.

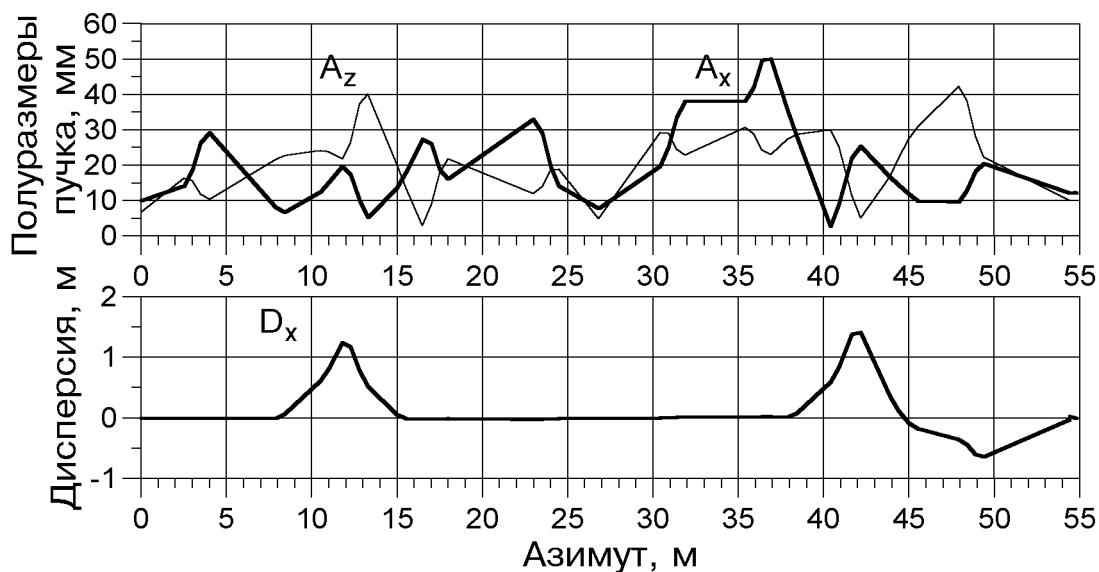


Рис. 2: Полуразмеры пучка и дисперсия в канале инжекции.

Эта структура подобна структуре разработанного ранее канала для инъекции пучка протонов с энергией 100 МэВ из И-100 в бустер [2]. В данном варианте канал рассчитан на транспортировку шестизарядных ионов углерода с энергией $E_{\text{ион}}=9.64$ МэВ/нуклон, что может обеспечить модернизированный И-100. Канал инъекции состоит из 16 квадрупольных линз, 6 поворотных диполей и 6 корректирующих диполей.

На рис. 2 приведены полуразмеры пучка в горизонтальной (A_x) и вертикальной (A_z) плоскостях для эмиттансов $E_h=40$ мм·мрад и $E_v=30$ мм·мрад и радиальная дисперсионная функция (D_x).

2. Канал транспортировки пучка C_{12}^{+6} от бустера до мишени

Выведенный из бустера пучок ионов углерода с энергией $E_{\text{ион}} = 420$ МэВ/нуклон ($BR=6.5$ Т·м) транспортируется в зал здания ЗН для облучения пациентов. План трассы приведен на рис. 3а. Головная часть канала, состоящая из дублета квадрупольных линз L14 и L15 и поворотного магнита M5, является общей с каналом инъекции протонного пучка в У-70. Магнит МН1 обеспечивает разводку трасс двух каналов, а магниты МН2, МН3 и МН4 задают трассу канала в плане. Вертикальная трасса приведена на рис. 3б. Магниты MV1 и MV2 задают подъем трассы на ~ 5.1 м, а магниты MV3 и MV4 обеспечивают ввод пучка в мишень под углом 45° к горизонту. Такой вариант облучения мишени имеет ряд преимуществ по сравнению с горизонтальным направлением. Расстановка магнитов в канале выполнена с учетом минимизации подъема трассы и обеспечения зануления вертикальной дисперсии в конце канала. Канал транспортировки содержит 8 поворотных магнитов длиной от 1 м до 2.5 м с полем 1.2 Т, 11 квадрупольных линз длиной 1 м с максимальным градиентом 4.3 Т/м и 6 корректирующих диполей длиной 0.5 м.

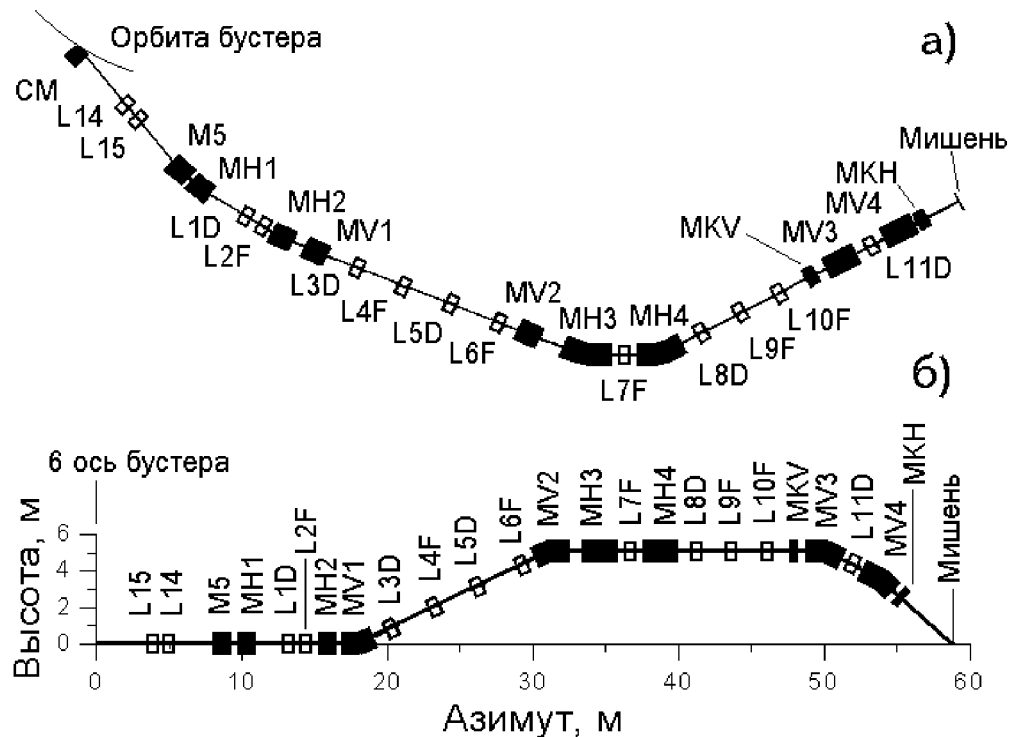


Рис. 3: Канал транспортировки пучка ионов углерода до мишени.

От выхода последнего поворотного магнита до мишени имеется расстояние ~ 4 м. Система фокусировки обеспечивает размер пятна на мишени диаметром от 20 до 40 мм с возможностью сканирования в двух поперечных плоскостях на ± 5 см. На свободных от электромагнитных элементов участках канала размещаются приборы для измерения положения центра тяжести и профиля пучка с точностью ± 0.5 мм, измерения интенсивности с точностью $\pm 5\%$, рассеиватели и коллиматоры для формирования однородного по сечению пучка ионов заданных размеров. Регулирование энергии пучка ионов производится пассивным образом с использованием поглотителей.

На рис. 4 приведены полуразмеры пучка в горизонтальной (A_x) и вертикальной (A_z) плоскостях для эмиттансов $E_h=30$ мм·мрад и $E_v=20$ мм·мрад, радиальная (D_x) и вертикальная (D_z) дисперсионные функции вдоль канала. Для данного варианта оконечная оптика настроена на получение на мишени круглого пучка диаметром 30 мм.

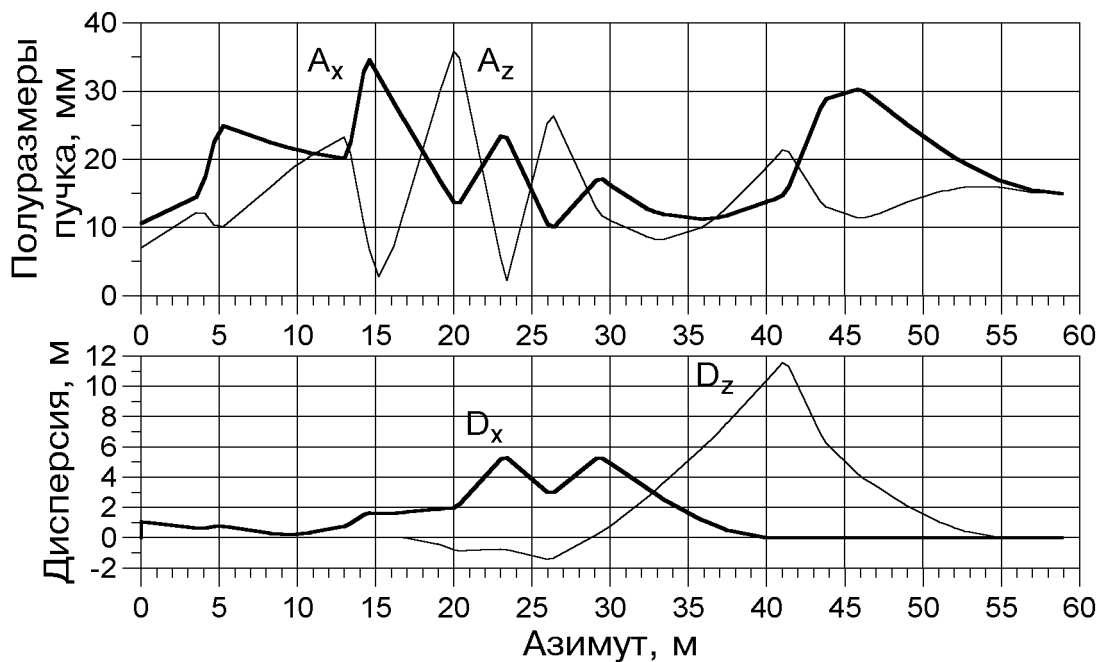


Рис. 4: Полуразмеры пучка и дисперсия в канале транспортировки пучка ионов углерода до мишени.

3. Исследовательский канал

Канал вывода пучка ионов углерода C_{12}^{+6} для проведения физико-технических и радиобиологических исследований на первом этапе может быть осуществлен в головной части канала перевода пучка протонов из бустера в У-70. Схема этого канала и параметры пучка вдоль канала приведены на рис. 5. В данной схеме дипольный магнит М5 выключен. Этим обеспечивается разводка трассы исследовательского канала и трассы канала перевода пучка протонов из бустера в У-70. Мишень располагается на расстоянии 5.4 м от выхода магнита М5. Для фокусировки пучка на мишени между магнитом М5 и мишенью установлен дублет квадрупольных линз L1D и L2F. Эти линзы совместно с линзами L14 и L15 обеспечивают изменение диаметра пучка ионов углерода от 8 мм до 50 мм. Для сканирования пучка по мишени в двух поперечных направлениях перед магнитом М5 установлены два дипольных корректора МКН и МКV.

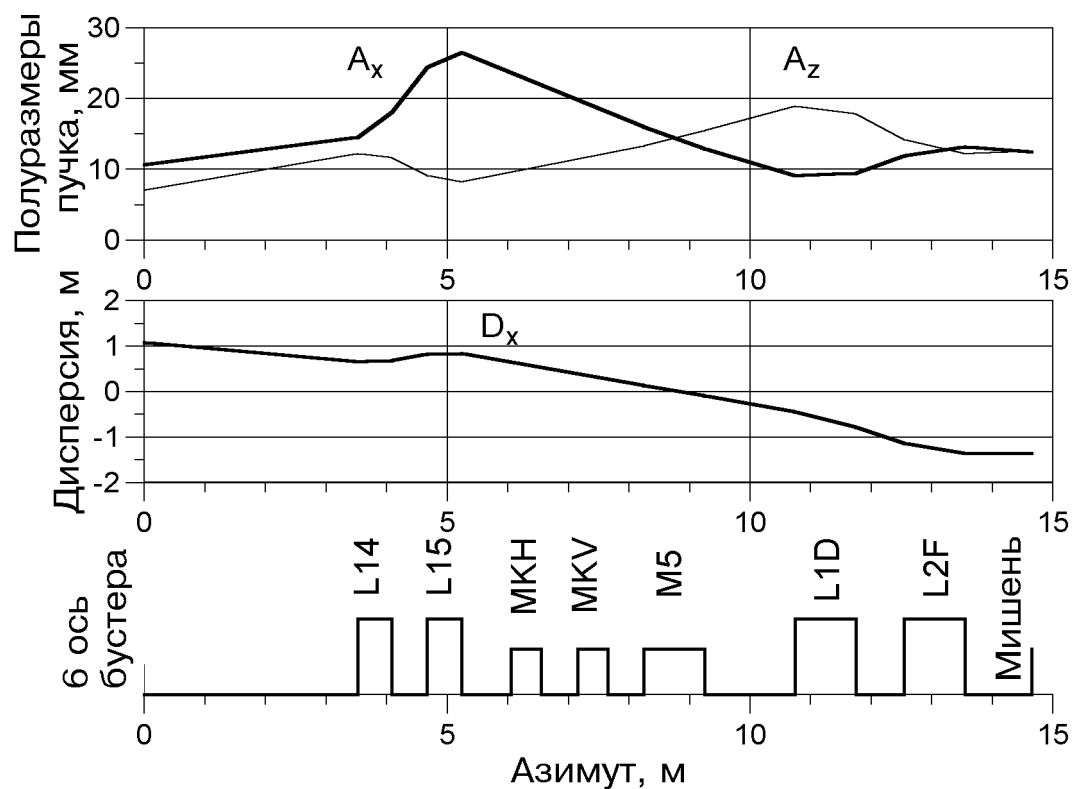


Рис. 5: Полуразмеры пучка, дисперсия и расположение электромагнитного оборудования в исследовательском канале.

Закключение

Разработанные каналы позволяют обеспечить перевод пучка ионов углерода из И-100 для инъекции в бустер и транспортировку ускоренных ионов от бустера до пациента или исследовательской мишени. При изготовлении каналов может быть использована часть оборудования УНК.

Список литературы

- [1] Ю.М. Антипов, А.В. Василевский и др. Медицинский облучательный центр с пучком ионов углерода на базе ускорительного комплекса ИФВЭ. Доклад на данной конференции, Протвино, 1998.
- [2] А.М. Иванов, Э.А. Мяз и др. Препринт ИФВЭ 76-37, Серпухов, 1976.