

Качество инжектируемого в ЛУ ММФ пучка Н⁺ при снижении энергии инъекции*

В.И. Дербилов, С.К. Есин, В.Н. Зубец, А.Н. Мирзоян,
Е.С. Никулин, П.Н.Остроумов, К.А.Черных, В.П. Якушев

ГНЦ РФ "Институт ядерных исследований РАН", Москва, Россия

С целью повышения среднего тока ЛУ ММФ предполагается довести длительность импульса пучка до 150 мкс и рабочую частоту следования импульсов до 100 Гц. При этом для увеличения длительности импульсов и повышения надежности работы инжектора его рабочее напряжение будет снижено с 750 до 400 кВ, с последующим доускорением пучка до 750 кэВ на входе ЛУ резонатором с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой [1].

Для выяснения возможности формирования и транспортировки пучка на вход ЛУ при пониженной энергии инъекции с использованием существующего канала инъекции и транспортировки поставлен соответствующий эксперимент.

Структура существующего канала инъекции и транспортировки пучка Н⁺ представлена на рис.2.

Инжектор [2] состоит из системы формирования пучка, примерно однородного ускоряющего поля (3/5 полного напряжения) с сеткой на входе и фокусирующей (согласующей) системы между ними. Пучок формируется из широкого ($d=70$ мм) экспандера, заполняемого плазмой из ионного источника типа "дуоплазматрон", с помощью вытягивающего электрода с сеткой под потенциалом 0–30 кВ относительно источника. Фокусирующий электрод–цилиндр диаметром 100–200 мм, на который также может подаваться регулируемое напряжение 0–45 кВ относительно источника.

Между инжектором и каналом транспортировки размещены магниты с поперечным полем (КМ) для корректировки положения пучка по осям X–Y на входе в канал транспортировки.

Канал транспортировки имеет три участка, разделенных двумя 45–градусными поворотными магнитами (ПМ). На 1-м участке — от инжектора до первого ПМ установлены два фокусирующих соленоида (СО) и чоппер (Ч) – устройство для разрежения пучка по частоте; на 2-м участке – между первым и вторым ПМ – четыре соленоида, два квадрупольных дублета (КД) и два корректирующих магнита; на 3-м участке – между вторым ПМ и НЧУ – три соленоида и квадрупольный дублет.

Кроме средств ускорения, коррекции и фокусировки пучка канал инъекции и транспортировки снабжен также средствами диагностики пучка. На инжекторе непрерывно измеряются ток отсева пучка на диафрагму диаметром 100 мм в створе заземленного электрода на выходе трубки (ЗД) и общий ток пучка, проходящий через индукционный датчик (ИД), установленный в станции наблюдения (СН) на расстоянии 150 см от заземленного электрода. Индукционный датчик откалиброван

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и технической политики РФ на установке линейный ускоритель ЛУММФ.

по измерениям тока на цилиндр Фарадея с запираем вторичных электронов. Кроме того, на входе в канал транспортировки, в 30 см за индукционным датчиком непрерывно контролируется положение пучка по осям X-Y многопроволочным датчиком (ПП). В канале транспортировки для измерения параметров пучка использовались две станции наблюдения (СН1 и СН2) в конце участков 1 и 2 (ток пучка, эмиттанс) и индукционный датчик на входе в НЧУ.

Обычно инжектор работает в длительных пучковых сеансах на частоте 50 Гц с общим током на выходе 120–130 мА в импульсе при энергии 730–750 кэВ. Доля протонов в общем токе инжектора составляет 70–75%. На входе в НЧУ ток протонов составляет обычно 60–70 % общего тока. Разница — потери в канале транспортировки. Но и для получения такого результата канал должен быть тщательно настроен.

При снижении энергии до 400 кэВ для получения того же тока, как и при 750 кэВ, потребовалось заново настроить напряжения формирующей системы инжектора, а также снизить пропорционально снижению скорости частиц токи фокусирующих соленоидов канала, квадруполь и поворотных магнитов. При этом сначала регулировкой напряжений вытягивания и фокусировки пучка устанавливалось максимальное значение тока на индукционном датчике после ускорительной трубки при минимальном отсеке тока на выходную диафрагму трубки. Затем регулировкой тока корректирующих магнитов после трубки при отключенном ПМ1 добивались максимума тока на СН1 при непрерывном контроле положения пучка многопроволочным датчиком ПП. Далее последовательно настраивались участки 1 и 2 канала транспортировки: сначала при отключенном ПМ1 настраивались токи соленоидов участка 1 по максимуму тока на СН1, затем настраивался ток ПМ1 по максимуму тока на СН2 и токи соленоидов и квадруполь участка 2 также на максимальный ток СН2. Пучок, достигший СН2, практически без потерь можно повернуть ПМ2 и транспортировать на вход НЧУ, поэтому после настройки канала инжекции и транспортировки завершили эксперимент измерением тока и эмиттанса пучка на СН2 (рис.1).

Результаты проведенного эксперимента выглядят следующим образом:

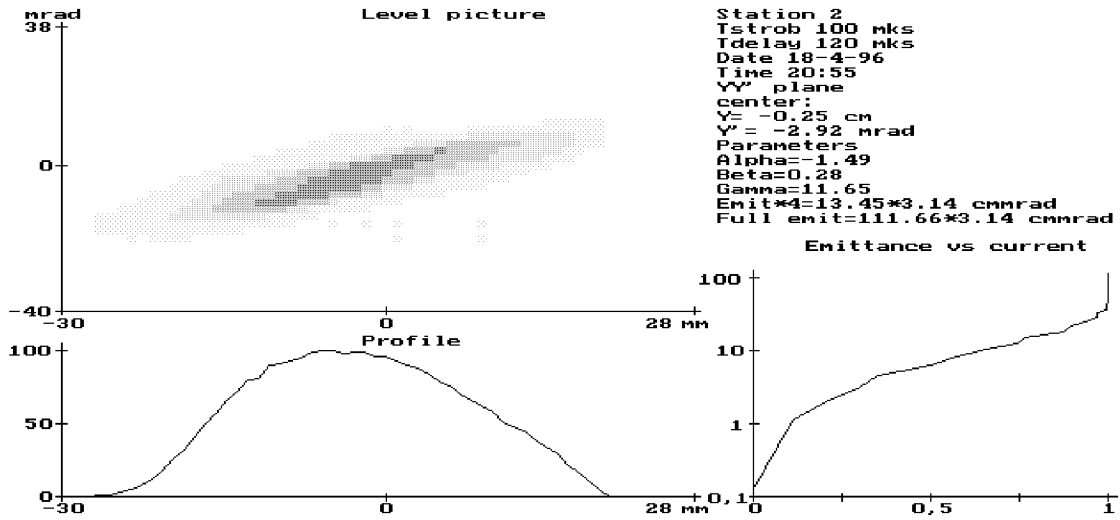
1. Ток 120–130 мА с инжектора при энергии 400 кэВ удается получить практически при том же напряжении вытягивания (15–16 кВ), как и при 750 кэВ, и при почти втрое меньшем напряжении фокусировки (11–12 кВ).

2. Через канал транспортировки до входа в НЧУ при 400 кэВ удается провести ток примерно на 20 % ниже, чем при 750 кэВ, т.е. 70 мА вместо 90.

3. Величины эмиттансов для 90% тока, измеренные по оси Y в конце участка 2 (на СН2), составляют при энергии 400 кэВ = $11,8 * 3,14$ см.мрад, при энергии 750 кэВ — $7,8 * 3,14$ см.мрад; нормализованные значения эмиттансов соответственно равны $0,35 * 3,14$ и $0,31 * 3,14$ см.мрад.

4. Фазовые портреты, распределения тока по сечению пучка и распределение тока на фазовой плоскости, измеренные для энергий 400 и 750 кэВ на СН2, мало отличаются (рис.1).

Таким образом, из проведенного эксперимента можно сделать вывод, что для тока пучка 70 мА на входе в ЛУ, вполне удовлетворяющем требованиям по интенсивности, снижение энергии частиц пучка с 750 до 400 кэВ при использовании существующего канала инжекции и транспортировки не приводит к ухудшениям пучка — нормализованный эмиттанс пучка практически одинаков в обоих случаях.



750

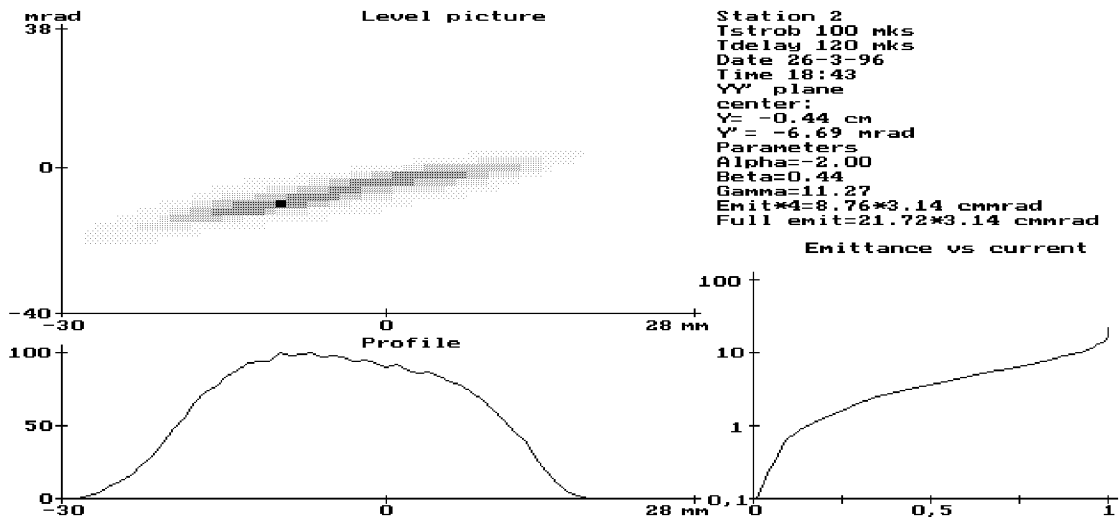


Рис.1. Сравнительные фазовые портреты (а), распределения тока по сечению (б), распределения тока на фазовой плоскости (в), измеренные на СН2 при энергиях пучков 400 и 750 кэВ.

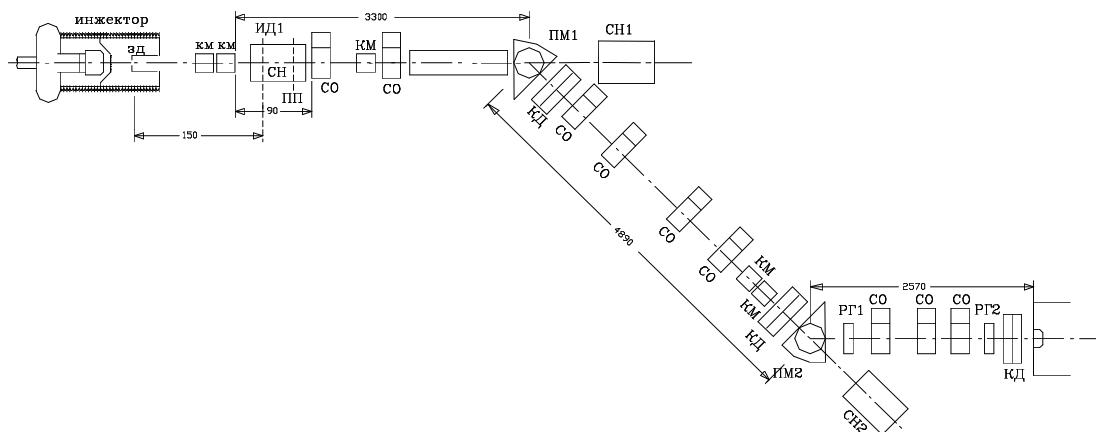


Рис.2. Структура канала инжекции и транспортировки пучка Н⁺ ЛУ ММФ.
 ЗД – заземленная диафрагма; КИ – корректирующий магнит; ИД – индукционный датчик; СН – станция наблюдения; ПП – датчик положения пучка; СО – соленоид; ПМ – поворотный магнит; КД – квадрупольный магнит; Ч – чоппер.

Литература.

1. V.A.Andreev et al. Development of RFQ Accelerator for the MMF Linac. Proceedings of the 1991 PAC, San-Francisco, 1991.
2. О.В.Елсуков и др. Вопросы атомной науки и техники. Серия: ядерно-физические исследования (теория и эксперимент), в.6/6, 1989, стр.19.