

Ускоряющая трубка спектрометра быстрых нейтронов на базе электростатического ускорителя

В.А. Романов, В.В. Экомасов, С.В. Бажал, А.С. Фейгин
ГНЦ-РФ Физико-энергетический институт, Обнинск, Россия

Разработана конструкция новой ускоряющей трубки с прямыми полями. Особенности конструкции являются применение широкоапертурных электродов, сеточно-диафрагменных узлов и постоянных магнитов для подавления разрядных процессов в ускорительном канале.

На электростатическом ускорителе ЭГ-1 ГНЦ РФ ФЭИ с 1982 г. эксплуатируется ускоряющая трубка (УТ) с наклонными полями [1]. Трубка состоит из трех технологических секций. Верхняя секция (секция №1) включает в себя промежутки предварительного ускорения, которые образованы конусными электродами с диаметром апертуры 120 мм и компенсирующий участок с наклонными электродами. Для предотвращения развития разрядных процессов на участке предварительного ускорения установлен сеточно-диафрагменный узел. Секция имеет модульное исполнение для того, что бы обеспечить переход с непрерывного на импульсный режим работы ускорителя. В ее конструкции предусмотрена возможность оперативной замены специфических для каждого из указанных режимов элементов оптической системы. В остальных технологических секциях трубки (секции №№ 2 и 3) электроды образуют ускоряющую структуру с элементами наклонного поля равной длины. Особенностью ускорителя ЭГ-1 является то, что стабилизация напряжения высоковольтного электрода осуществляется с помощью электронного пучка, ускоряемого в канале трубки, и это обстоятельство предъявляет дополнительные требования к оптике ускорительного канала.

К настоящему времени ускоряющая трубка отработала на физический эксперимент около 50 тыс. часов, причем некоторые из ее промежутков утратили электрическую прочность.

В связи с поставленными в 1998 году задачами по совершенствованию импульсного режима работы ускорителя ЭГ-1 пришлось решить ряд принципиальных вопросов при разработке новой конструкции ускоряющей трубки с целью обеспечения требуемых параметров высокоинтенсивного импульсного пучка (интенсивность пучка несколько миллиампер при длительности импульса 2–3 наносекунды). Особое внимание было уделено пространственной стабильности ионного пучка на выходе из ускоряющей трубки, более эффективной транспортировке импульсного пучка и улучшению рабочего вакуума в ускоряющем канале.

Пространственная стабильность пучка определяется многими факторами, основными из которых являются:

- 1) параметры ионооптического тракта инжектора, включая особенности конструкции ионного источника и системы согласования инжектируемого пучка и ускоряющей трубки;
- 2) степень чистоты вакуума (особенно состояние поверхности электродов, расположенных на входе в ускоряющую трубку и их конструкция);
- 3) точность исполнения всех элементов ускоряющих трубок и технологических секций в целом;
- 4) параметры электростатических и магнитных полей, расположенных по тракту ускорения.

С целью исключения поперечных возмущений ионного пучка было принято решение использовать в ускоряющей трубке прямые поля с широкой апертурой. Широкоапертурная трубка позволяет существенно увеличить вакуумную проводимость канала, более глубокий вакуум по тракту ускорения и особенно на тракте инжекции.

Увеличение вакуумной проводимости вызвано тем обстоятельством, что для обеспечения интенсивного ионного пучка необходимо применить ионный источник с довольно большим расходом газа (около 10–20 см³/ч). Необходимость применения прямых полей вызвано еще и тем, что стабилизация высокого напряжения на ускорителе производится электронным пучком, который приводит к дополнительным возмущениям ускоряемого пучка в трубках с наклонными полями.

В связи с финансовыми затруднениями на приобретение материалов было решено использовать электроды трубки из нержавеющей стали марки 12X18H9T, ранее бывшими в эксплуатации, в качестве изоляторов использованы ситалловые кольца высотой 25 мм с внешним диаметром 230 мм. При разработке был

учтён опыт, полученный во время создания УТ с прямыми полями для ускорителя ЭГ-2,5. В частности, был использован модульный принцип построения трубки, а также система подавления разрядных процессов в канале УТ с помощью сеточно-диафрагменных узлов и постоянных магнитов, которые позволяют обеспечить необходимую электрическую прочность ускоряющей трубки в рабочем режиме

В процессе подготовки к склейке УТ проведена значительная работа по дальнейшему совершенствованию технологии изготовления. Основное внимание было уделено обеспечению равной прочности всех клеевых швов и точности исполнения отдельных элементов и УТ в целом, предпринят ряд дополнительных мер обеспечивающих повышенную чистоту при изготовлении трубки.

Изготовление трубки произведено по ранее разработанной технологии с применением клея ПВА, практически исключая попадание в технологический объём органических соединений, о чём свидетельствует низкий уровень темновых токов, полученных при испытаниях ускоряющих промежутков. На ускоряющем промежутке при длительно выдерживаемом напряжении 56 кВ и вакууме $3 \cdot 10^{-6}$ тор темновые токи не превышали $5 \cdot 10^{-10}$ А.

Прежде чем разработать электродную систему УТ, были проведены ионооптические расчеты импульсного ионного пучка и электронных траекторий в пучке системы стабилизации высокого напряжения (рис. 1–2). Результаты расчетов использованы при проектировании сеточно-диафрагменных устройств.

Конструкция верхней секции трубки показана на рис. 3. Для принятой формы электродов пропускная способность УТ по воздуху составляет 52 л/с, тогда как в трубке с наклонными полями она не превышала 33 л/с.

Ускоряющая трубка изготовлена, и в ноябре этого года будет произведен её монтаж на ускорителе ЭГ-1. На рис. 4 показана одна из трёх технологических секций.

Литература

1. Романов В.А. и др. Ускоряющая трубка с широкоапертурной секцией предварительного ускорения. // ВАНТ. Сер. Общая и ядерная физика, 1983, в.3 (24), с.27-28.
2. Бажал С.В., Романов В.А., Экомасов В.В. Модернизация ускоряющей трубки электростатического ускорителя ЭГ-1. - В сб. Трудов XI Совещания по ЭСУ, Обнинск, 1996, с. 200-202.

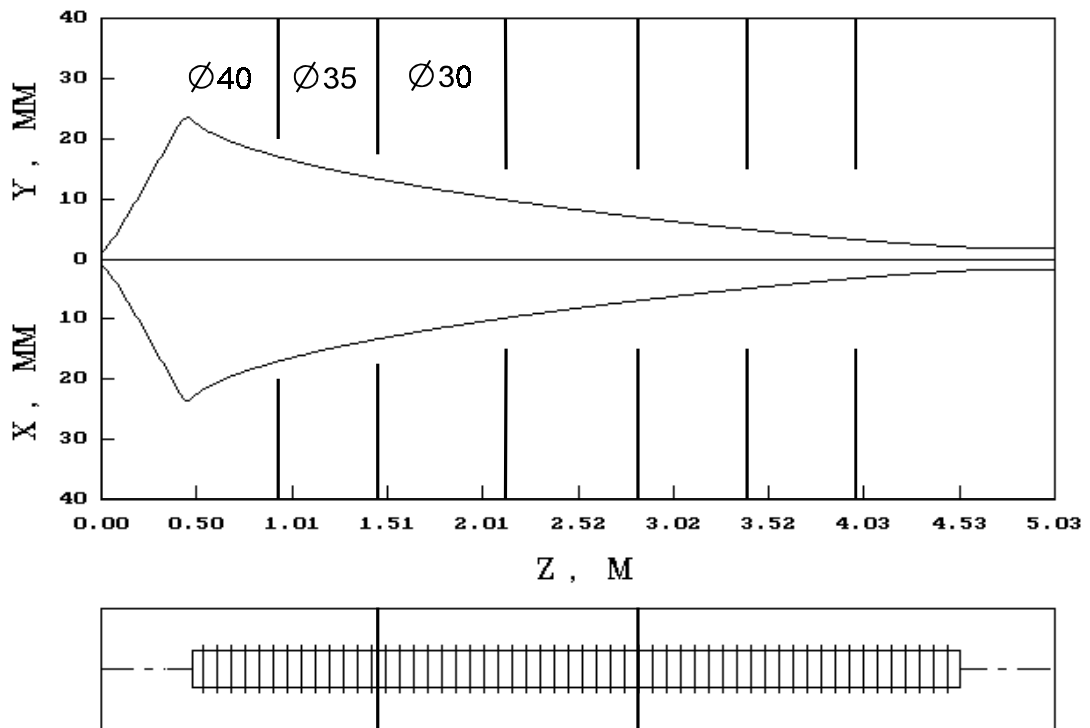


Рис. 1. Огибающая импульсного протонного пучка в ускоряющей трубке ЭГ-1
 $I = 1,5 \text{ мА}$; $\Theta_0 = 10\pi \text{ мм} \cdot \text{мрад} \sqrt{\text{МэВ}}$; $W_0 = 30 \text{ кэВ}$.

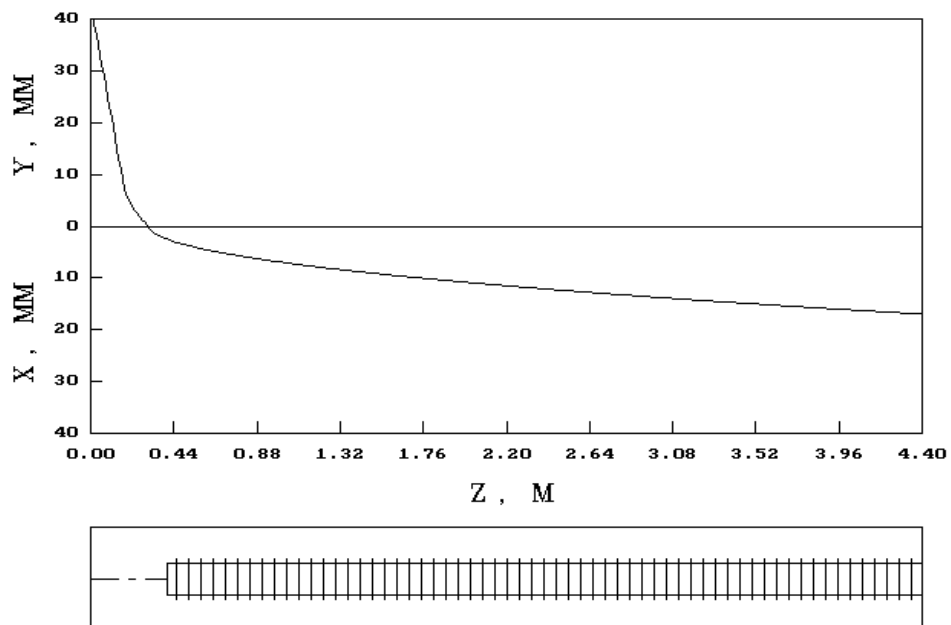


Рис. 2. Траектория электрона в пучке системы стабилизации энергии.

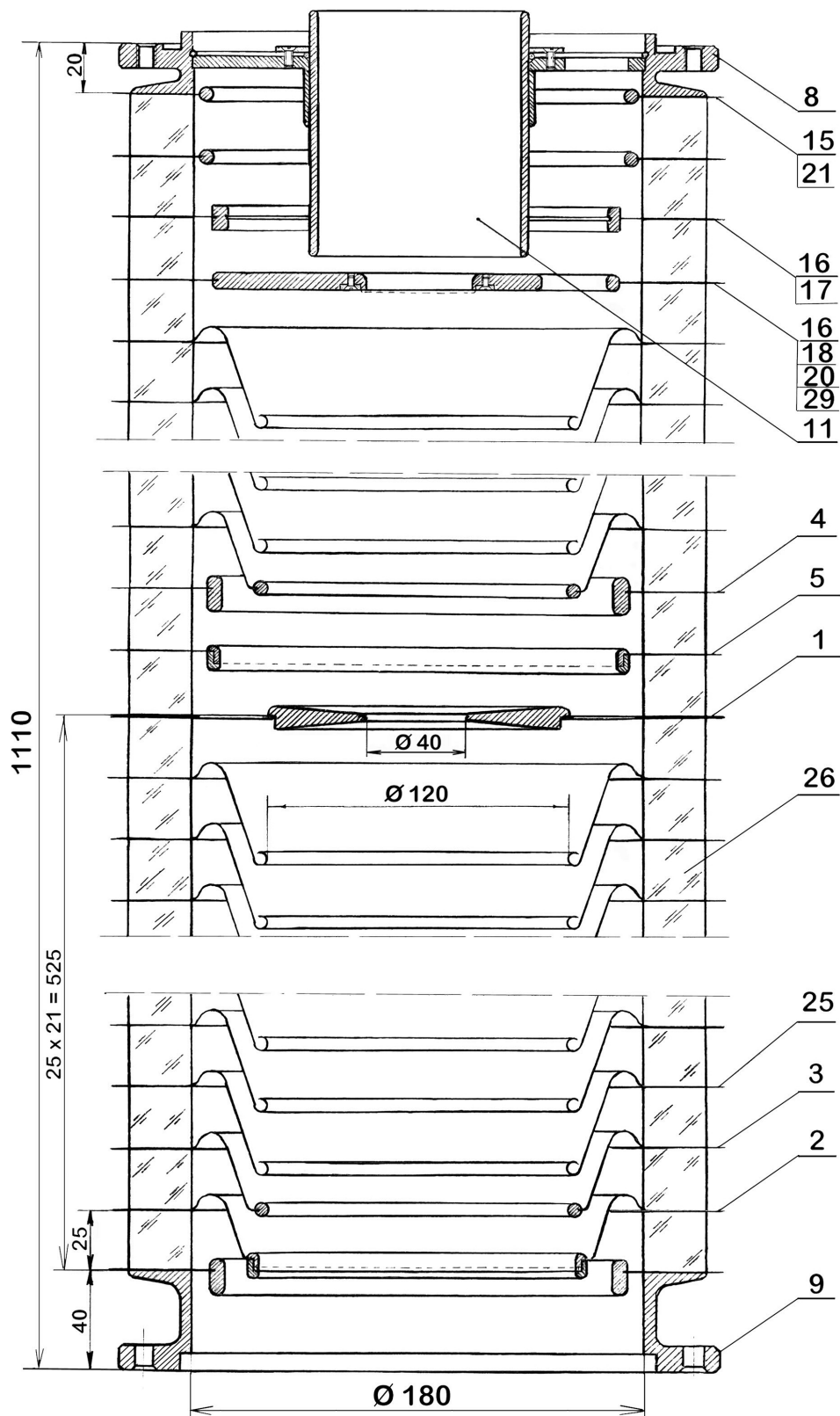


Рис. 3. Верхняя секция ускоряющей трубки. 1 – диафрагма; 2, 5 – сеточные электроды; 11, 16 – сеточная линза системы согласования; 3, 4, 15, 16, 17, 21, 25 – электроды различной формы; 8, 9 – фланцы.



Рис. 4. Технологическая секция УТ ЭГ-1.