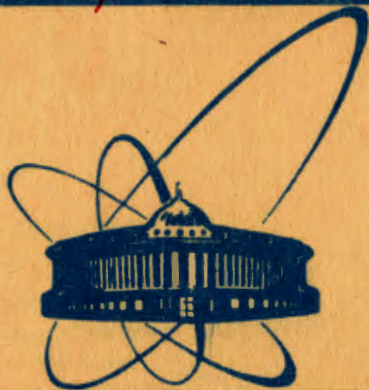


4493/82

20/IX-82



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

9-82-339

**Г.В.Долбилов, В.А.Петров, В.А.Петров,
В.П.Саранцев, А.П.Сумбаев, А.А.Фатеев**

**ГОЛОВНОЙ ОБРАЗЕЦ
ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ
СИЛУНД-20**

1982

ВВЕДЕНИЕ

В работе^{/1/} приводятся результаты исследования систем нового инжектора коллективного ускорителя с электронными кольцами - линейного индукционного ускорителя электронов с повышенной цикличностью СИЛУНД-20. Результаты работы^{/1/} подтвердили принципиальную возможность создания индукционного ускорителя с током пучка 800 А, работающего с частотой повторения циклов 50 Гц. Дальнейшие исследования позволили оптимизировать отдельные системы и увеличить мощность установки. В настоящем сообщении приводятся общее описание и результаты работ по наладке головного образца ускорителя.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Структурная схема головного образца ускорителя СИЛУНД-20 представлена на рис.1. Индукционный ускоритель представляет собой комплекс функционально связанных систем и узлов, основными из которых являются следующие: 1/ индукционная система, 2/ генератор высоковольтных импульсов ускоряющего напряжения - модулятор, 3/ источник электронов - электронная пушка, 4/ генератор высоковольтных импульсов напряжения /ГИН/ источника электронов, 5/ фокусирующая система, 6/ вакуумная система, 7/ система управления, блокировок и сигнализации /УБС/, 8/ система диагностики пучка и контроля режимов ускорителя.

Для обеспечения нормальной работы в установку включены вспомогательные системы: 1/ зарядные устройства ГИН источника электронов и модулятора, 2/ источники электропитания электронной пушки и модулятора, 3/ системы импульсного размагничивания нелинейных элементов модулятора, 4/ система охлаждения.

Конструктивные особенности установки представлены на рис.2. Индукционная система ускорителя состоит из двух секций индукторов. Первая секция конструктивно объединена с источником электронов, вторая является ускоряющей. В качестве электронной пушки используется плазменный источник электронов с импульсным формированием катодной плазмы в разрядной трубке /1/, размещенной внутри первой секции индукторов. Принципы работы источника подробно излагаются в работах^{/1,2/}. Катодная плазма образуется ионизацией остаточного газа при подаче на игольчатый катод /2/ импульса напряжения определенной амплитуды и дли-

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ

Физики Академии Наук СССР

БИБЛИОТЕКА

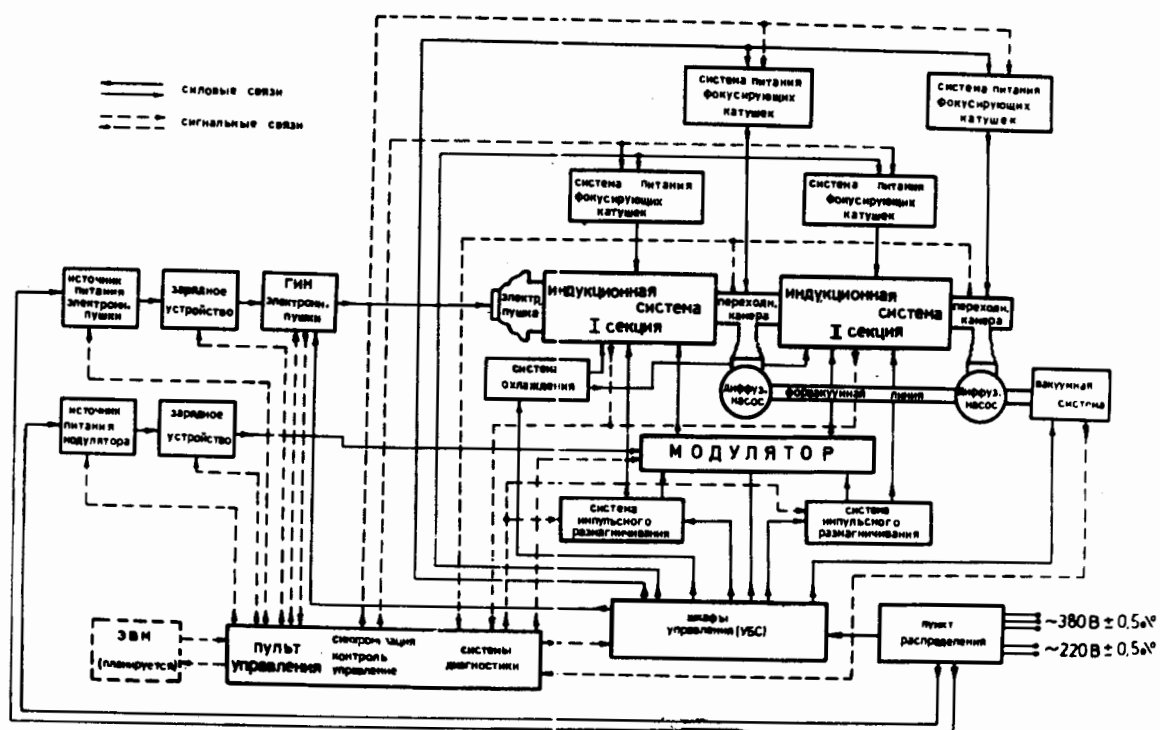


Рис.1. Структурная схема головного образца ускорителя СИЛУНД-20.

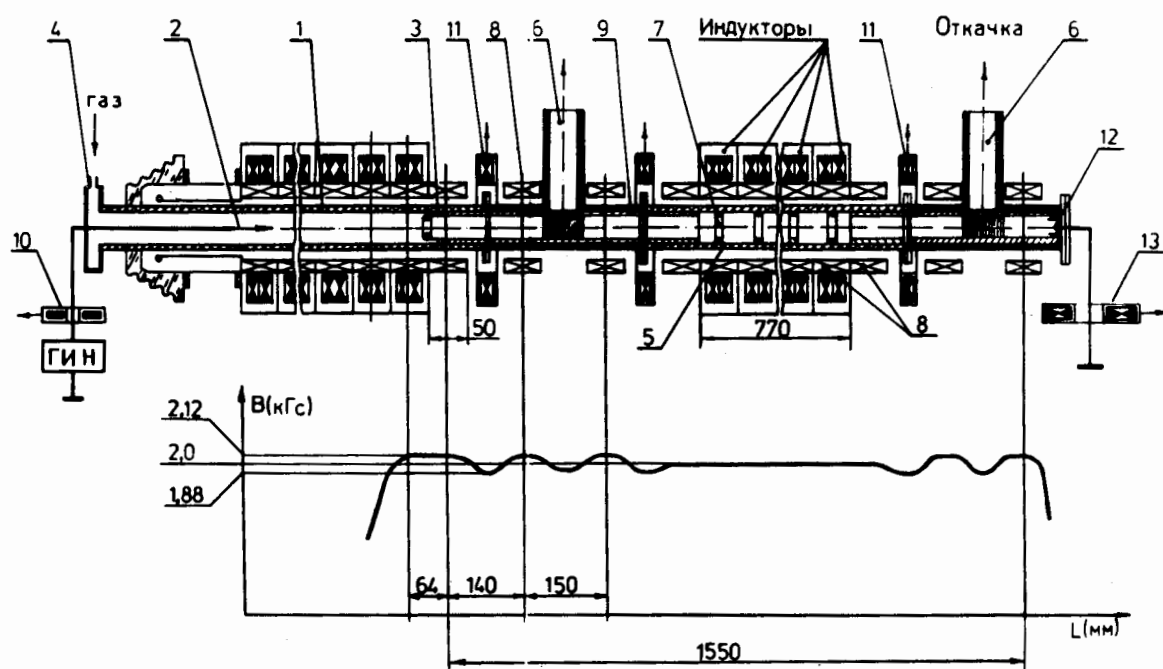


Рис.2. Конструктивная схема установки.

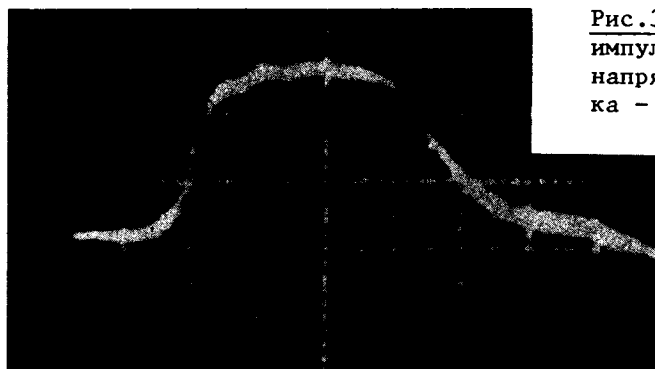


Рис.3. Осциллограмма импульса ускоряющего напряжения. Развертка - 10 нс/дел.

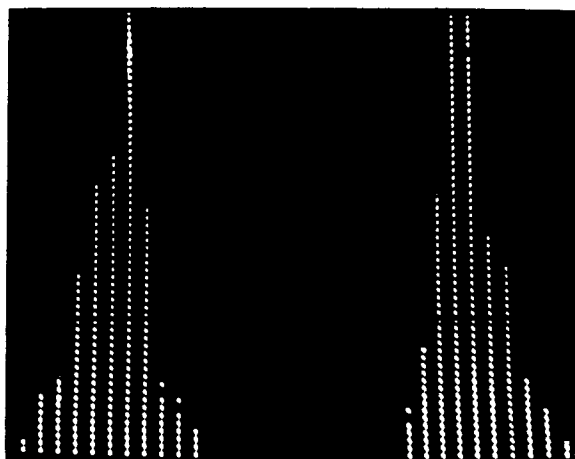


Рис.4. "Профиль" электронного пучка в первой переходной камере.

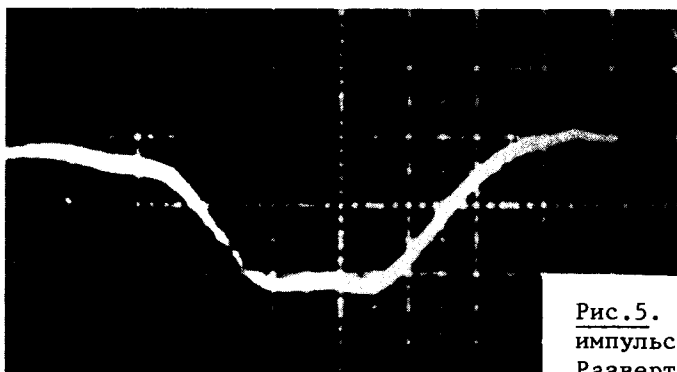


Рис.5. Осциллограмма импульса тока пучка. Развертка - 10 нс/дел.

тельности. Анодом /3/ является медный цилиндр с проходным отверстием ϕ 60 мм, охлаждаемый проточной водой. Напуск газа производится натекателем через катодную камеру /4/, размещенную на конце разрядной трубки.

Каждая секция включает в себя 24 индуктора, выполненные на основе ферритовых сердечников K250x170x25 M200NH2. Суммарное напряжение одной секции может достигать 350-400 кВ, что соответствует эффективной напряженности электрического поля в ускорительном тракте 4,5-5,2 кВ/см.

Ускорительный тракт образован разрядной /1/ и ускорительной /5/ трубками и переходными камерами /6/ на стыках секций. Разрядная трубка изготавливается гладкостенной из ситалловой трубы ϕ 92-80 мм. Ускорительная трубка второй секции имеет двенадцать диафрагм /7/, имеющих контакты с вторичными витками индукторов. Внутренний диаметр апертуры ускорительного тракта составляет 70 мм. Переходная камера представляет собой тройник, выполненный из керамической трубы, размеры которой согласованы с размерами ускорительных трубок. Два патрубка тройника, образующие пролетный участок, пристыковываются к концам ускорительной или разрядной трубки. Третий патрубок тройника служит для откачки ускорительного тракта. Преимущественное использование в узлах ускорительного тракта керамики и металла позволяет получить по тракту ускорителя вакуум до 10⁻⁷ Тор.

Фокусирующая система формирует непрерывное соленоидальное магнитное поле напряженностью 2 кЭ при помощи коротких катушек /8/, расположенных в индукторах в зазоре между ускорительной трубкой и ферритовыми сердечниками. Катушки запитаны импульсным током, имеющим форму половины периода синусоиды с амплитудой 1,0 кА и длительностью полупериода 50 мкс. Для ослабления эффекта сканирования тока в обмотках катушки намотаны медной лентой толщиной 0,5 мм. Магнитное поле в переходных камерах формируется при помощи катушек, аналогичных индукторным, с током 1,5 кА и медных экранов, расположенных на внутренних стенках переходных камер и на концах ускорительных трубок. Распределение фокусирующего поля по тракту ускорителя представлено на рис.2. Неоднородность поля на стыках секции и камер не превышает +6%.

В качестве модулятора - генератора импульсов ускоряющего напряжения предложена схема, в которой один модулятор может быть нагружен на две ускоряющие секции. В качестве коммутатора в модуляторе используется тиратрон ТГИ1-2500/50, работающий в микросекундном диапазоне импульсов. Уменьшение длительности импульса в нагрузке и увеличение импульсной мощности достигается использованием нелинейных магнитных звеньев, согласованных с элементами формирования импульса и нагрузкой.

Система управления объединяет систему синхронизации, аппаратуру коммутации, регулирования и блоки аварийной защиты источников питания ускорителя.

Система синхронизации /3/ включает в себя задающий генератор синхроимпульсов, набор блоков цифровых программных задержек /4,5/ и усилителей-формирователей. Синхронизатор осуществляет параллельный независимый запуск системы ускорителя в широких диапазонах регулирования момента срабатывания. В системе контроля параметров ускорителя используется 64-канальный программно управляемый коммутатор.

Блоки аппаратуры синхронизации и диагностики изготовлены в стандарте КАМАК, что позволяет произвести подключение всей системы управления в линию с ЭВМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАЛАДКИ И РАБОТЫ С ПУЧКОМ

В процессе наладки установки были оптимизированы режимы работы модулятора с одним тиратроном, нагруженным на две секции индукторов /48 индукторов/, производилась коррекция фокусирующих полей, исследовалась транспортировка электронного пучка через ускорительную секцию, измерялись отдельные параметры пучка на выходе второй секции. Контроль ускоряющего напряжения осуществлялся при помощи высоковольтных делителей, подключенных к первичным виткам индукторов. Контроль тока катода производился поясом Роговского /10/ /рис.2/. Ток пучка в переходных камерах измерялся поясами Роговского /11/, на выходе ускорителя - охлаждаемым коллектором /12/ с поясом Роговского /13/. Испытания показали хорошую работоспособность новой схемы модулятора, способной передавать в нагрузку импульсную мощность порядка 0,8 ГВт при токе пучка 800-1000 А. На рис.3 представлена осциллограмма импульса напряжения на витке возбуждения индуктора. Длительность развертки составляет 10 нс/дел, амплитуда напряжения - 12,5 кВ.

Исследованиями установлено, что ток пучка электронов, проходящих через анод, составляет 90% общего тока катода. Коэффициент прохождения электронного пучка через ускоряющую секцию составляет 95%. Для измерения поперечных размеров и положения электронного пучка использовался многоточечный датчик "профиля" пучка - распределения плотности потока электронов по сечению. Датчик состоит из 29 точечных / ϕ 1,2 мм/ цилиндров Фарадея, расположенных внутри общего коллектора в одной плоскости сечения пучка с шагом 4 мм по двум взаимно перпендикулярным диаметрам. Точечные цилиндры изолированы и экранированы друг от друга и нагружены на отрезки высокочастотного кабеля, согласованные на входе в блоки электроники системы обработки инфор-

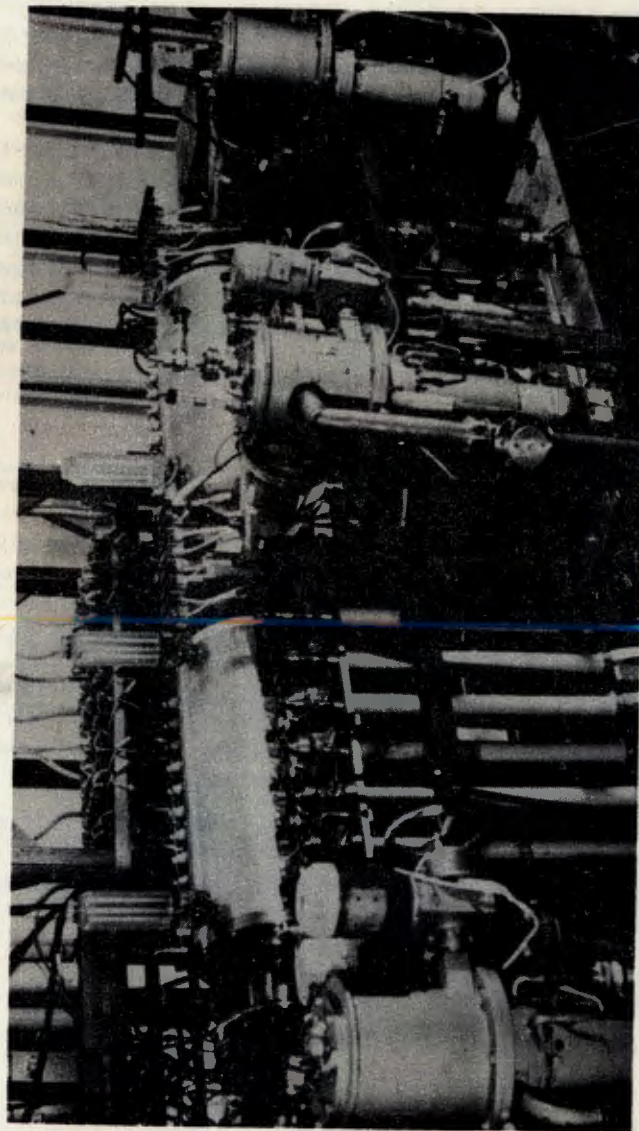


Рис.6. Общий вид установки.

мации. "Профиль" пучка электронов, прошедшего через анод /1 переходная камера/, представленный на экране телевизионного приемника, приведен на рис.4. Две группы сигналов соответствуют двум группам точечных датчиков, расположенных на взаимно перпендикулярных осях. Величина сигнала с каждого датчика пропорциональна плотности электронного пучка. Из рисунка видно, что размер пучка в первой переходной камере не превышает 35 мм при токе пучка 1 кА.

Исследования долговременной работоспособности ускорителя показали, что установка может работать длительное время в режиме генерации интенсивного электронного пучка с током 800-850 А на частоте 50 Гц. На рис.5 представлена осциллограмма импульса тока пучка электронов на выходе второй секции. Длительность развертки составляет 10 нс/дел, амплитуда тока - 800 А. Суммарное ускоряющее напряжение двух секций составляло при этом 600 кВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплекса расчетно-конструкторских, монтажных и пусконаладочных работ создан головной образец линейного индукционного ускорителя электронов, состоящий из двух индукционных секций. Общий вид установки представлен на рис.6. Экспериментально-исследовательские работы по оптимизации режимов систем ускорителя, проведенные в сеансах опытной эксплуатации, показали работоспособность установки в целом при работе с цикличностью 50 Гц. Таким образом, созданная установка может служить прототипом линейного индукционного ускорителя, создаваемого для инжектора коллективного ускорителя тяжелых ионов с электронными кольцами повышенной цикличности.

Авторы благодарят Н.В.Клокова, В.А.Савельева, В.В.Топорова, Б.Г.Горинова и Н.И.Лебедева за содействие в разработке аппаратуры, а также В.В.Ососова за помощь при монтаже и наладке установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горинов Б.Г. и др. ОИЯИ, 9-12148, Дубна, 1979.
2. Долбилов Г.В. и др. ОИЯИ, Р9-82-70, Дубна, 1982.
3. Долбилов Г.В. и др. ОИЯИ, 9-80-102, Дубна, 1980.
4. Лебедев Н.И. ОИЯИ, 9-12326, Дубна, 1979.
5. Коряко В.И. и др. ОИЯИ, 9-80-99, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 мая 1982 года.

Долбилов Г.В. и др.

9-82-339

Головной образец линейного индукционного ускорителя СИЛУНД-20

Описан головной образец инжектора коллективного ускорителя - линейного индукционного ускорителя СИЛУНД-20, работающего с частотой 50 Гц. Две ускорительные секции способны формировать ускоряющее поле напряженностью 4,5-5 кВ/см. Модулятор, питающий секции, работает на одном тиратроне ТГИ1-2500/50 и формирует импульсы напряжения суммарной величиной 600 кВ, длительностью 30-40 нс при токе пучка 800 А. Фокусирующая система создает продольное магнитное поле напряженностью 2-3 кЭ. Неоднородность магнитного поля на оси не превышает +6%. На выходе инжектора получен пучок электронов с током 800 А при частоте 50 Гц. Коэффициент прохождения пучка по ускорительному тракту превышает 90%.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Dolbilov G.V. et al.

9-82-339

Head Model of SILUND-20 Linear Induction Accelerator

The head model of the collective accelerator injector of SILUND-20 linear induction electron accelerator with the 50 Hz cycle repetition frequency is described. Two accelerating sections are able to create the accelerating field with the 4.5-5 kV/cm intensity. The modulator supplying the accelerating sections operates at one TGH1-2500/50 tiratron and forms the 600 kV intensity pulses, with the 30-40 ns duration at the 800 A beam current. The focusing system forms longitudinal magnetic field with the 2-3 kOe intensity. At the output after two accelerating sections, the electron beam with the 800 A current at 50 Hz frequency has been obtained. The non-uniformity of magnetic field at axis does not exceed 6%. The transmission coefficient on the accelerating road exceeds 90%.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.