

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P9-88-872

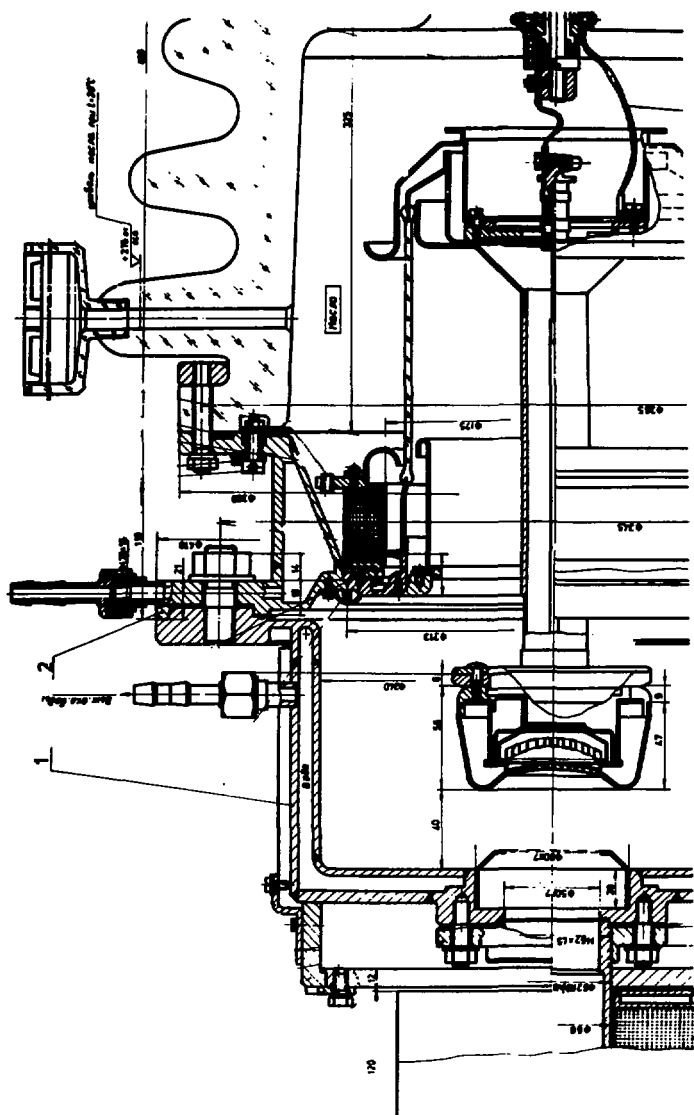
**А.В.Андросов, В.С.Кладницкий, С.Л.Платонов,
В.А.Швец**

**РЕЗУЛЬТАТЫ НАЛАДКИ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ
УСКОРИТЕЛЯ ЛИУ-30**

1988

Источником электронов линейного индукционного ускорителя на 30 МэВ (ЛИУ-30)¹¹ является электронная пушка-диод со следующими параметрами: энергия электронов пучка — 300 кэВ, ток пучка в импульсе — 250 А, длительность импульса — 0,5 мкс. Особенность наладочных работ на ЛИУ-30 заключалась в том, что требовалось испытать различные варианты катодов, анодов, импульсных трансформаторов. Для этого пришлось пересмотреть конструкции экспериментальных электронных пушек (ЭЭП и ЭПЛ) и создать принципиально новую, пригодную для наладочных работ. В старых конструкциях электронных пушек изолятор на 300 кВ размещался в объеме, общем с импульсным трансформатором (традиционная клистронная схема), и для замены оптики или катода требовался большой объем работ, связанный со вскрытием и освобождением от трансформаторного масла вакуумных узлов электронных пушек. Отрицательный импульс напряжения амплитудой 300 кВ подается от импульсного трансформатора ИТ-300, выполненного на основе ускорительной секции по проекту НИИЭФА им. Д.В.Ефремова, на катод электронной пушки через два изолятора последовательно из воздуха через масло в вакуум (см. рисунок). Первый изолятор из оргстекла, служащий одновременно емкостью для трансформаторного масла, в который погружен второй изолятор из молибденового стекла, соединяется с заземленным охлаждаемым корпусом электронной пушки. Катодная ножка, сваренная в единый блок со вторым изолятором (граница вакуум-масло), через который подается на катод отрицательное импульсное напряжение и напряжение накала оксидного термокатода, соединяется фланцами с катодным корпусом и образует совместно с анодным корпусом вакуумную камеру электронной пушки. На поверхности второго изолятора у катодного корпуса пушки в масляной полости первого изолятора размещен антисоленоид, предназначенный совместно с прикрепляемым снаружи анодного корпуса ферромагнитным экраном специальной формы для уменьшения магнитного поля основного фокусирующего соленоида в области катода. Этот фокусирующий соленоид устанавливается непосредственно после ферромагнитного экрана за анодным отверстием и служит для удержания совместно с торцевой линзой первой инжекторной секции необходимых поперечных размеров пучка в переходной области между пушкой и входом в ускоритель.

Корпус пушки смонтирован в специальном юстировочном устройстве, позволяющем совмещать ее ось с осью ускорителя. Вакуумная система пушки состоит из турбомолекулярного насоса ТМН-500, расположенного под ней и отсекаемого шибером, и двух магнитоэлектрических насосов НОРД-100, пристыкованных к пушке через вакуумные патрубки с двух сторон, что обеспечивает возможность предваритель-



Конструкция источника электронов ЛИУ-30.

ной обработки оксидного катода, а также вакуум при работе с электронным пучком $5 \cdot 10^{-7}$ Торр. Для вскрытия вакуумного объема пушки и замены катода без нарушения юстировки в конструкции пушки использован специальный домкрат параллелограммного типа, отодвигающий катодный узел от анодного, что облегчает операции по замене катода и позволяет их делать одному человеку.

Формирование пучка электронов осуществляется магнитным полем соленоида, центр которого находится на расстоянии 175 мм от катода. Соленоид имеет обмотку прямоугольного поперечного сечения с внутренним диаметром 66 мм и внешним диаметром 160 мм; протяженность обмотки по оси системы составляет 100 мм. Торцы обмотки охлаждаются водой, что позволяет довести плотность тока возбуждения до $2,0 \div 2,5$ А/мм². Магнитное поле в центре соленоида на оси может достигать 600 Э; на практике используется диапазон значений поля от 300 до 500 Э.

В отсутствие магнитного экрана магнитное поле на поверхности катода в точке, лежащей на оси, меняется соответственно от 12 до 20 Э. Стальной магнитный экран толщиной 10 мм имеет внешний диаметр 260 мм, апертура экрана 62 мм. Экран снабжен стальным кольцом, имеющим осевую протяженность 35 мм при толщине 10 мм. Кольцо с внешним диаметром 260 мм ориентировано в сторону катода. Применение экрана позволяет снизить магнитное поле на катоде до 5 Э, когда поле в центре соленоида равняется 300 Э, и, соответственно, до 8,4 Э при максимальном значении поля 500 Э. Экран существенно изменяет характер распределения поля по оси *oz* между катодом и стальным диском.

За катодом пушки расположена дополнительная катушка прямоугольного поперечного сечения — антисолоноид, создающая магнитное поле, которое направлено навстречу магнитному полю соленоида. Геометрические размеры катушки и ее положение относительно катода выбраны таким образом, что при токе возбуждения антисолоноида, составляющем примерно 15% от тока возбуждения соленоида, магнитное поле катода обращается в нуль. В результате эмиттанс пушки уменьшается примерно на 10-15% по сравнению с эмиттансом при поле на катоде порядка 20 Э. Поперечная составляющая магнитного поля на оси не превышает 1,5 Э при его максимальных значениях. Полученные результаты измерений магнитных полей позволили получить данные для расчета согласованной входной фокусирующей катушки на входе в первую секцию инжекторного участка, размещаемой на расстоянии (400 ± 2) см от катода и предназначенной для устранения провала поля в переходной области.

Важным достоинством конструкции пушки является возможность

установки различных по форме и диаметру катодов и прикатодных электродов на катодную ножку и анодов в анодное отверстие пушки, что позволило опробовать различные электронно-оптические системы (ЭОС) пушек в совместной работе с начальной частью ускорителя ЛИУ-30 и провести их экспериментальные исследования. Трудности транспортировки электронного пучка через ускоряющую систему ЛИУ-30 накладывают серьезные требования на качество источника электронов и вызывают необходимость постоянного совершенствования в процессе наладки ускорителя.

Были опробованы несколько вариантов ЭОС пушек: ЭЭП-2, разработанная в ЛНФ ОИЯИ^{1,2}, пушка от клистрона КИУ-12АМ, серийно выпускаемая промышленностью, и оптическая система, разработанная НИИЭФА, на основе пушки Пирса, где анодное отверстие затянато проволоочной сеткой с ячейкой $\approx 2,5$ мм. В процессе проведения наладочных работ на инжекторном участке (ИУ) ЛИУ-30 совместно с сотрудниками НИИЭФА были измерены энергетические спектры на выходе пушки и на выходе ИУ (12 секций, $E = 4$ МэВ), а также значения нормализованного эмиттанса, которые на выходе пушки достигали $0,2-0,3$ см \cdot рад (для различных ЭОС), а на выходе ИУ составляли $0,36 \div 0,46$ см \cdot рад.

Путем применения стробирования измерительной аппаратурой эти параметры наблюдались в различные моменты времени в течение импульса тока пучка^{1,3}.

По совокупности требований к параметрам пушки для дальнейших наладочных работ была выбрана ЭОС НИИЭФА с сеткой. Она, кроме того, позволяет путем изменения расстояния между сеткой анода и катодом изменять первенас пушки в пределах $1,5-2,5$ А \cdot В^{-3/2}, то есть при энергии электронов 300 кэВ выходной электронный ток пушки может иметь величину от 250 до 400 А в импульсе. В настоящее время созданная пушка используется при проведении наладочных работ на ЛИУ-30 при проводке пучка через инжекторный и первый ускорительный участок ($E = 8$ МэВ) и обеспечивает необходимые параметры пучка.

В заключение авторы благодарят В.В.Косухина, М.И.Демского, В.Б.Заббарова, Р.В.Харьюзова за ценные консультации, дискуссии и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анянцев В.Д. и др. – ОИЯИ, 13-4392, Дубна, 1969.
2. Анцупов П.С. и др. – ОИЯИ, Р9-10999, Дубна, 1977.
3. Вахрушин Ю.П. и др. – ОИЯИ, Р9-88-383, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 декабря 1988 года.

Результаты наладки источника электронов ускорителя ЛИУ-30

Описана новая конструкция источника электронов — электронной пушки — для ЛИУ-30. В отличие от ранее использовавшихся она выполнена в виде отдельного блока, соединяемого специальным переходным устройством с повышающим импульсным трансформатором на 300 кВ, выполненным на основе ускорительной секции. Ферромагнитный экран специальной формы и антисоленоид, размещаемый за катодом в полости маслонаполненного изолятора и включаемый встречно основному фокусирующему соленоиду, позволяют уменьшить эмиттанс пушки на 10÷15% за счет нулевого магнитного поля в области катода. Были испытаны различные электронно-оптические системы и выбрана система на основе пушки Пирса, разработанная в НИИЭФА, в которой анодное отверстие затянато проволоочной сеткой с ячейкой 2,5 мм.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Results of Adjustment of LIU-30 Accelerator Electron Source

A new design of an electron source — electron gun — for LIU-30 accelerator is described. Unlike the earlier used ones it has been made as a separate unit connected via a special adapter with increasing pulsed transformer to 300 kW constructed on the base of an accelerating section. Ferromagnetic screen of a special shape and antisolenoid placed behind the cathode in a hollow of an oil-filled insulator and switched on antiparallely to the main focusing solenoid permit to diminish the gun emittance by 10-15% due to zero magnetic field in the cathode region. Various electron-optical systems were tested and that one was chosen based on the Piere gun in which the anode orifice was covered with a wire gauze of 2.5 mm cell.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988

Редактор Т.Я.Жабицкая. Макет Н.А.Киселевой.

Набор О.В.Шестаковой.

Подписано в печать 10.01.89.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,83.

Тираж 305. Заказ 41489.

**Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.**