

**ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА ТАНДЕМНОГО  
УСКОРИТЕЛЯ ЭГП-10К**

**Ю. И. Тоцкий, В. В. Жук, Л. П. Кацубо, Э. Н. Можжухин,  
А. В. Русавский, А. Я. Худенко**

Описано устройство для обеспечения импульсного режима ускорения ионов на перезарядном ускорителе ЭГП-10К. Для формирования импульсов тока использовался метод клистронной группировки инжектированных ионов с последующим прерыванием пучка на диафрагме. Приведены оптимальные размеры устройства прерывания для формирования импульсов тока с длительностью 1 - 20 нс и частотой повторения 4 МГц.

Электростатический перезарядный ускоритель ЭГП-10К введен в эксплуатацию в НИЦ "ИЯИ" НАН Украины в 1996 г. [1] вместо ускорителя ЭГ-5, который работал с 1965 г. Целью создания данного ускорителя было увеличение энергии и расширение спектра ускоряемых ионов.

Для расширения возможностей ускорителя при проведении физических исследований, в частности с использованием методик по времени пролета, возникла необходимость в создании импульсного режима для перезарядного ускорителя. Для решения этой задачи система инжекции претерпела некоторые изменения, а именно:

изготовлен источник отрицательных ионов с большим током пучка и увеличенным сроком непрерывной работы;

установлено устройство прерывания пучка и устройство группировки ионов.

Инжектор отрицательных ионов [2] с системой пульсации пучка смонтирован непосредственно на баке ускорителя (рис. 1). В его состав входит ионный источник 1, фокусирующая линза 2, устройство импульсного режима работы ускорителя 2', 4, вторая фокусирующая линза 9, система параллельного переноса 10 и входное согласующее устройство 11. Пучок ионов водорода с током до 50 мкА извлекается из газоразрядного источника типа "дуоплазмотрон" с полым катодом. Одиночная электростатическая линза 2

формирует первый кроссовер ионного пучка в области входной диафрагмы 5 с диаметром отверстия 3 мм. Поскольку конструктивное ограничение инжектора по высоте ( $H \leq 2$  м) не позволяет разместить "отдельным узлом" двухзорный группирователь ионов, его функции выполняет крайний электрод одиночной линзы. Такого рода совмещение функций фокусирующей по радиальной и модулирующей по продольной скорости ионов пучка в одном электростатическом устройстве до настоящего времени не применялось.

В инжекторе применен метод двухзорной клистронной группировки ионов [3] с последующим прерыванием на диафрагме 5 сгустков модулированного по продольной скорости ионного пучка.

В качестве группирователя используется третий электрод одиночной линзы 2', на который подается регулируемое по амплитуде синусоидальное напряжение  $f = 8$  МГц,

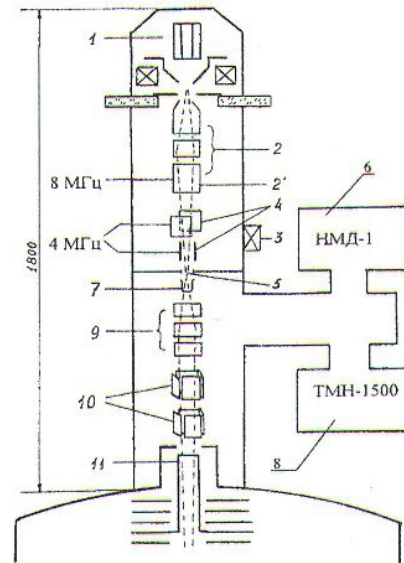


Рис. 1. Инжекторный комплекс ускорителя ЭГП-10К.

$U_2 \leq 1$  кВ. Проходя первый ускоряющий зазор ( $\Delta = 3$  мм) ионы пучка модулируются по скорости с частотой группирующего напряжения, приобретая энергетический разброс:

$$\Delta V_i = V_i \cdot \frac{U_2}{2U} \cdot \sin \omega t; \text{ где } V_i = \sqrt{\frac{2eU}{M}},$$

$U_2$  - потенциал ускоряющего зазора,  $eU$  - энергия иона.

Затем они попадают в пространство дрейфа (цилиндр длиной 12,5 см, равный расстоянию, проходимому пучком ионов со скоростью  $V$  за время, равное половине периода синусоиды), после чего ионы попадают во второй модулирующий зазор, равный первому. Таким образом, ионный пучок, прошедший группирователь, имеет почти равномерную плотность, но получает изменение продольной скорости  $V + \Delta V$ , и ранее прошедшие ионы имеют меньшую скорость, а более поздние - большую и на некотором расстоянии догоняют передние, образуя сгусток по плотности.

Для прерывания сгруппированных сгустков ионов из модулированного по плотности непрерывного пучка служит прерыватель 4 (см. рис. 1). Прерывание происходит при прохождении через диафрагму отклоненного под действием переменного напряжения пучка ионов. Переменное напряжение подается на две пары отклоняющих пластин. Если переменное синусоидальное напряжение подается на одну пару пластин то луч будет разворачиваться по прямой линии и за диафрагмой получим два импульса тока за период. Для получения одного импульса за период применено две пары взаимно перпендикулярных пластин.

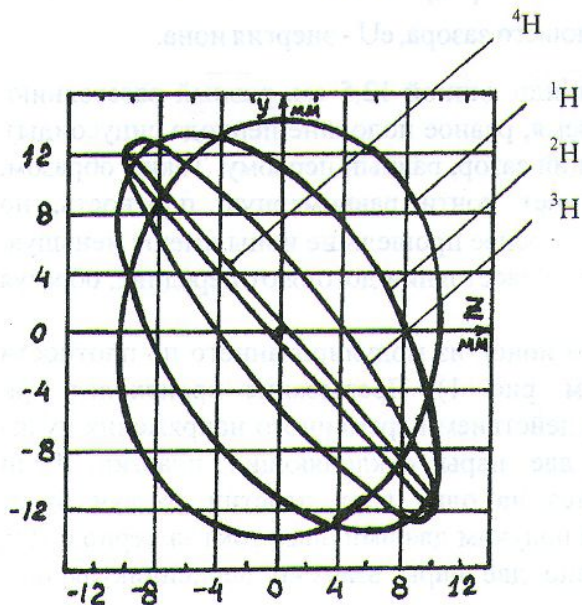
В связи с тем, что энергия ионов, входящих в модулятор, фиксирована, фиксирован фокус второй одиночной линзы на плоскости диафрагмы. Для стабильной сепарации частиц по массам с помощью кварцевого резонатора стабилизируется частота задающего генератора на уровне 4 МГц. Амплитуда синусоидального напряжения раскачки  $U_n$  подается на пластины от усилителя мощности раскачки и регулируется величиной анодного напряжения лампы ГУ-29.

Одновременно на обе пары пластин через дроссели подается постоянное напряжение смещения  $\pm U_1$  и  $\pm U_2$ , позволяющее последовательно "проваливать" любой участок развертки пучка ионов для дальнейшего ускорения.

Проведенные для такой системы расчеты позволили определить оптимальную геометрию узла прерывателя, позволяющую получить хорошую сепарацию частиц по массам и длительности сгустков. Выбрана длина отклоняющих пластин, соответствующая оптимальной скорости черчения, которая является явной функцией времени пролета системы. Расчеты для системы отклонения с двумя парами взаимно перпендикулярных пластин, на которые подается одинаковая частота 4 МГц, определили следующие размеры: длина пластин - 10 см, расстояние между пластинами - 4 см, диаметр диафрагмы - 3 мм. При прохождении аксиального монохроматического пучка через систему отклоняющих пластин, на которое подано переменное синусоидальное напряжение, в пучок вносится коррелированное по времени изменение угла и энергии. Эти изменения накладывают ограничение на получение минимальной длительности с помощью раскачки. Энергетический разброс ионов в пучке обусловлен его поперечными размерами и определяет время пролета отклоняющей системы. Наиболее рациональным средством уменьшения поперечного разброса энергий является уменьшение диаметра пучка, для чего и устанавливается вторая одиночная линза.

На рис. 2. приведены траектории пучков ионов  $^1H$ ,  $^2H$ ,  $^3H$  и  $^4H$  с энергией 28 кэВ и амплитудой раскачки 100 В в плоскости диафрагмы 5 (см. рис. 1). Смещая на диафрагму часть развертки, можно надежно сепарировать частицы по массе и выбрать определенную длительность.

Для контроля и настройки импульсного источника как в период наладки, так и в рабочем режиме ускорителя по тракту ускорения и транспортировки ионов установлены приборы, позволяющие измерять средний ток пучка и качественно определять работу импульсного устройства (прерывания и группировки). Этот контроль необходимо проводить



каждый раз при изменении режима работы ускорителя и проводить настройку импульсного устройства. Измерения проводятся на приборе наблюдения и измерения пучка ионов – ПНИПе, в рабочую схему которого были внесены изменения. Прибор может работать как в обычном режиме измерения тока ионов, так и в режиме измерения импульсов тока. Сигнал, пропорциональный току в импульсе, с низкоомной нагрузки (50 - 150 Ом) через широкополосный усилитель (коэффициент усиления около 500) подается на широкополосный осциллограф С1-75, расположенный на пульте управления ускорителем. Настроив по осциллограмме на максимальную амплитуду импульса с помощью регулировок “фазы” группирующего напряжения, амплитуды группировки и смещения развертки отклоняющей системы, подбираются оптимальные параметры регулировок.

Рис. 2. Траектория ионных пучков с  $E = 28$  кэВ и  $V_{раск} = 100$  В.

Непосредственное и точное измерение ступков ионов длительностью 1 - 2 нс является достаточно сложной задачей [4, 5]. Для того чтобы воспроизводить форму импульсов такой длительности, измерения должны проводиться на сверхвысокочастотном цилиндре Фарадея, частотная характеристика которого должна

быть плоской до нескольких ГГц. Практически такая мишень представляет собой низкоомную (50 - 100 Ом) коаксиальную секцию с открытым концом, на который падает импульсный пучок ионов. Такая мишень соединена с широкополосным (~1 ГГц) стробоскопическим осциллографом и может находиться в тракте транспортировки ионов только в процессе наладки импульсного режима, но никак не в эксплуатационном режиме работы ускорителя, так как установка такой мишени под пучок не позволяет проводить физические эксперименты. Практически длительность ступков ионов  $\Delta t_{ст}$  в процессе работы ускорителя в импульсном режиме со спектрометром нейтронов по времени пролета

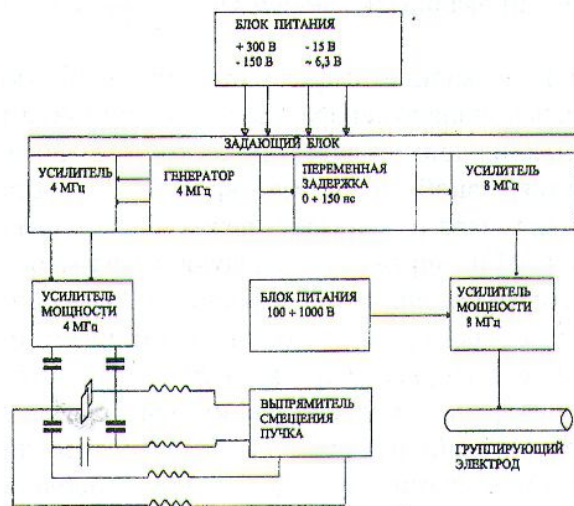


Рис. 3. Блок-схема импульсного устройства.

количественно определяется из измеренного полного временного разрешения спектрометра.

В настоящее время задающий блок, усилители мощности 4 и 8 МГц, а также система смещения пучка установлены на инжекторе и проверена работоспособность электронных схем импульсного устройства. Блок-схема электронных устройств приведена на рис. 3. Все регулировки выведены на пульт управления ускорителем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вилиневский И.Н., Жук В.В., Кацубо Л.П. и др.* // Матеріали щорічн. наук. конф. Ін-ту ядерних досліджень НАН України. – Київ, 1997. – С. 149.
2. *Кацубо Л.П., Тоцький Ю.И., Можжухин Э.Н. и др.* // Вопр. атомн. науки и техники. - 1997. – Вып. 2(29). – С. 155.
3. *Moak C.D., Good W.M., Kind R.F.* // Rev. Sci. Instr. – 1964. - No 6. – P. 672.
4. *Бровченко В.Г., Воротников П.Е., Молчанов Ю.Д.* Электронные устройства на электростатических ускорителях. – М.: Атомиздат, 1968.
5. *Рехин И.Е., Курашов А.Н., Чернов П.С.* Измерение интервалов времени в экспериментальной физике. – М.: Атомиздат, 1967.

**ФОРМУВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО РЕЖИМУ ТАНДЕМНОГО  
ПРИСКОРЮВАЧА ЕГП-10К**

**Ю. І. Тоцький, В. В. Жук, Л. П. Кацубо, Е. М. Можжухін,  
А. В. Русавський, О. Я. Худенко**

Описано пристрій для забезпечення імпульсного режиму прискорення іонів на перезарядному прискорювачі ЕГП-10К. Для формування імпульсів струму використовувався метод клістронного групування інжекттованих іонів з наступним перериванням пучка на діафрагмі. Наведено оптимальні розміри перервача струму іонів для формування імпульсів з тривалістю 1 - 20 нс та частотою повторення 4 МГц.

**FORMING OF A PULSING MODE OF THE TANDEM  
ACCELERATOR EGP-10K**

**Yu. I. Totsky, V.V. Zhuk, L. P. Katsubo, E. N. Mozhzhukhin,  
A. V. Rusavsky, A. Ya. Khudenko**

The device to organize the impulse mode of ions acceleration on the recharging accelerator EGP-10K is described. To form impulses of a current the method of a klystron bunching of the injected ions with consequent interruption of a beam on the diaphragm is used. Optimum sizes of the device of interruption for forming current impulses with duration 1 - 20 ns and frequency of a recurring 4 MHz are determined.