

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P9-87-171**

**А.А.Глазов, Е.Н.Заплатин, В.А.Кочкин,  
Б.Н.Марченко, Л.М.Онищенко, П.Т.Шишлянников**

**РАСТЯЖКА УСКОРЕННОГО ПУЧКА  
ФАЗОТРОНА ОИЯИ  
С ПОМОЩЬЮ С-ЭЛЕКТРОДА**

**1987**

Растяжка пучка в фазотроне ОИЯИ <sup>1/1</sup> заключается в предварительном ускорении частиц до промежуточной орбиты и последующем доведении их до конечной орбиты с необходимой скоростью с целью получения непрерывного во времени пучка. По достижении частицами промежуточной орбиты происходит выключение ускоряющего напряжения основного дуанта. Доускорение частиц производится с помощью дополнительной ускоряющей системы - С-электрода. Проведенный расчет <sup>2/2</sup> позволил выработать требования к системе растяжки - ускоряющее напряжение на С-электроде должно составлять 15 кВ, диапазон частот - 60 кГц.

Система растяжки фазотрона ОИЯИ состоит из С-электрода, резонансной линии <sup>3/3</sup>, мощного высокочастотного усилителя <sup>4/4</sup> и задающего генератора /ЗГ/. Электрически С-электрод представляет собой емкость, подключенную на конце резонансной четвертьволновой короткозамкнутой 50-омной линии /рис. 1/. Конструкция С-электрода и линии представлена на рис. 2.

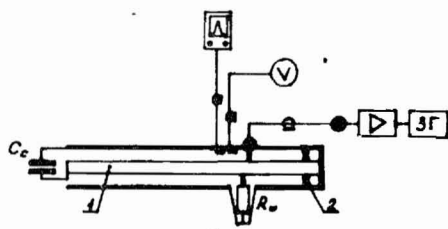


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема системы растяжки: 1 - резонансная линия, 2 - подвижная закоротка,  $C_e$  - эквивалентная емкость С-электрода,  $R_{ш}$  - шунтирующее сопротивление.

Для настройки С-электрода и резонансной линии предусмотрены четыре элемента подстройки: перемещение закоротки резонансной линии, что позволяет перестраивать частоту системы на 560 кГц; варьирование точки подключения шунтирующего сопротивления и ВЧ-разъема в диапазоне  $\pm 100$  мм; возможность быстрой замены шунтирующего сопротивления на аналогичное другого номинала. Напряжение на С-электроде контролируется двумя калиброванными индуктивными датчиками, установленными рядом с разъемом для ввода мощности.

Для возбуждения системы растяжки разработан высокочастотный генератор, рассчитанный на 10 кВт выходной мощности, окончательный

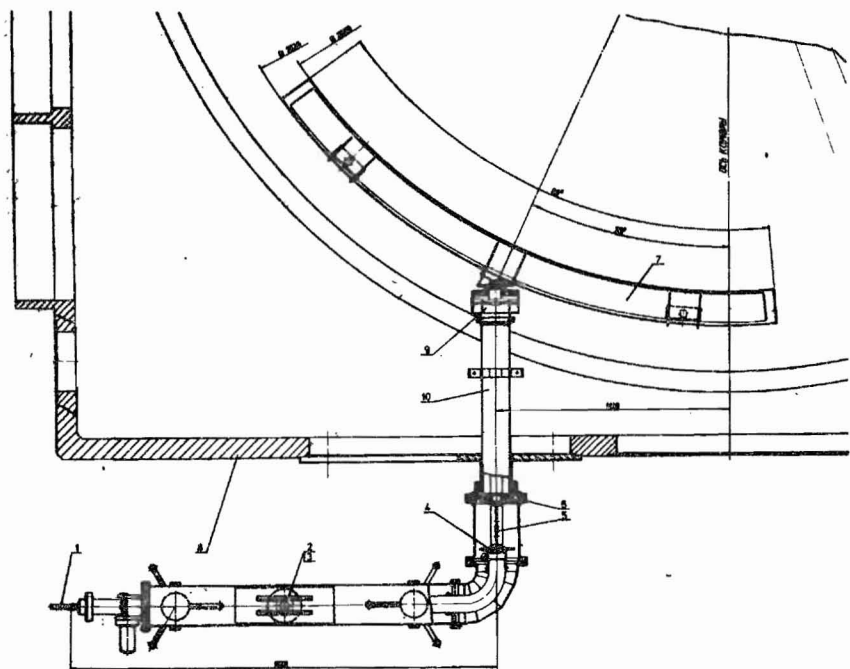


Рис. 2. Конструкция С-электрода и резонансной линии: 1 - ввод воды; 2, 3 - водоохлаждаемый резистор и высокочастотный разъем; 4 - конденсатор; 5 - ввод воды для охлаждения С-электрода; 6 - проходной изолятор; 7 - С-электрод; 8 - ускорительная камера; 9 - система крепления С-электрода в ускорительной камере; 10 - 50-омная резонансная линия.

мощный каскад которого выполнен на основе тетрода ГУ-47 по схеме с общей сеткой. При работе генератора на согласованную нагрузку было получено рабочее напряжение 15 кВ.

Подключение к генератору системы растяжки преобразует анодную схему оконечного каскада и резонансного контура "С-электрод - линия" в систему связанных контуров. Это означает, что если выбрать при данной связи рабочую точку в центре провала характеристики при минимальном сопротивлении [рис. 3], то импеданс в аноде лампы в рабочем диапазоне частот будет изменяться незначительно, что должно способствовать устойчивой работе генератора.

Из-за необходимости размещения ВЧ-аппаратуры за защитой на значительном расстоянии от С-электрода, вызванной радиационны-

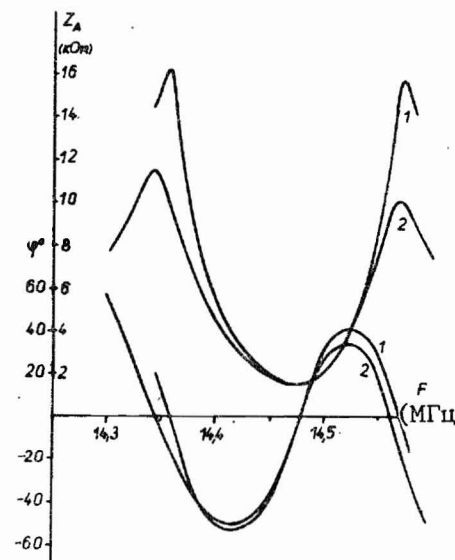
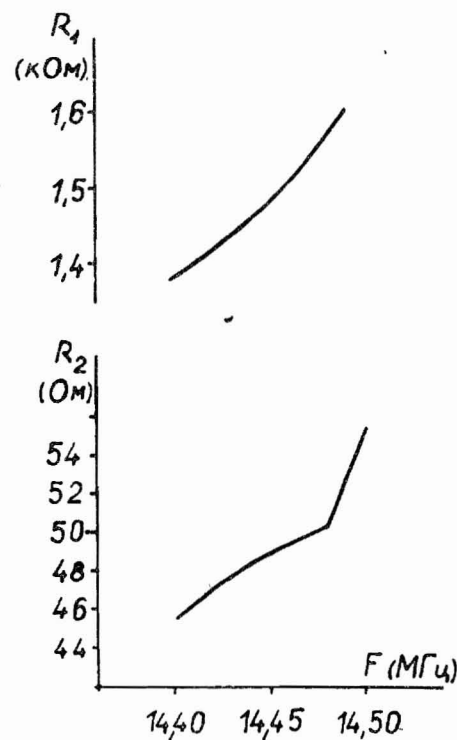


Рис. 3. Частотные зависимости импеданса  $Z_A$  и фазы  $\phi$  в аноде оконечного каскада усилителя: 1 - для кабеля РК-50-24С, 2 - РК-50-9.

ми нагрузками, приходится использовать длинный кабель. При определении длины кабеля учитывались элементы оконечного каскада генератора. Для подачи мощности от генератора к С-электроду поочередно используются два кабеля: более тонкий и удобный для накладки РК-50-9 и рабочий РК-50-24С. Настройка кабелей проводилась при полосе системы растяжки 60 кГц и анодном сопротивлении выходного каскада генератора 1,5 кОм. Результаты представлены на рис. 3. Видна достигнутая симметричность кривых относительно рабочей частоты 14,48 МГц. Оптимальная рабочая длина кабелей 17,7 м.



Для определения возможной перестройки частоты системы растяжки в процессе ее работы без непосредственного контроля высокочастотных параметров был проведен эксперимент по расстройке системы на  $\pm 50$  кГц; результаты приведены на рис. 4. Видно, что сопротивление на генераторном конце кабеля возбуждения ( $R_2$ ) меняется на  $\pm 10\%$  при изменении частоты системы растяжки в диапазоне 100 кГц. Эта величина является допустимой с точки зрения изменения коэффи-

Рис. 4. Частотные зависимости сопротивлений в аноде  $R_1$  и на генераторном конце кабеля возбуждения  $R_2$  в полосе пропускания системы растяжки.

циента отражения, который составляет  $1/4 \div 5 \cdot 10^{-2}$  на краях полосы. Сопротивление в аноде ( $R_1$ ) в таком частотном диапазоне меняется на  $+0,1$  кОм, что соответствует изменению мощности генератора всего на  $+1$  кВт. Поэтому перестройка системы растяжки подобным образом в диапазоне 100 кГц является допустимой, а это значительно облегчает подстройку системы в процессе ее эксплуатации.

В качестве иллюстрации работы системы приведены осциллограммы ускоряющего напряжения на С-электроде  $U_c$  и сеточного тока

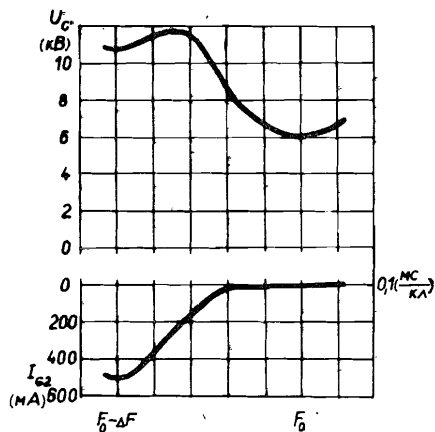


Рис. 5. Осциллограммы напряжений на С-электроде  $U_c$  и сеточного тока выходного каскада генератора  $I_{g2} / F_0$  - центральная частота полосы пропускания, равная  $2\Delta F$ .

выходного каскада генератора  $I_{g2}$  /рис. 5/ при наладке системы растяжки в непрерывном режиме /девиация частоты 100 кГц/. Рабочий режим работы генератора  $2\Delta F = 60$  кГц/ приведен в таблице. Система растяжки работает без подачи на С-электрод постоянного напряжения смещения для ликвидации возможного резонансного

высокочастотного разряда. Поэтому при низком уровне напряжения в системе возникает разряд, однако при  $U_c$ , равном  $1/4 \div 5$  кВ, устанавливается устойчивая работа системы без разряда.

Таблица

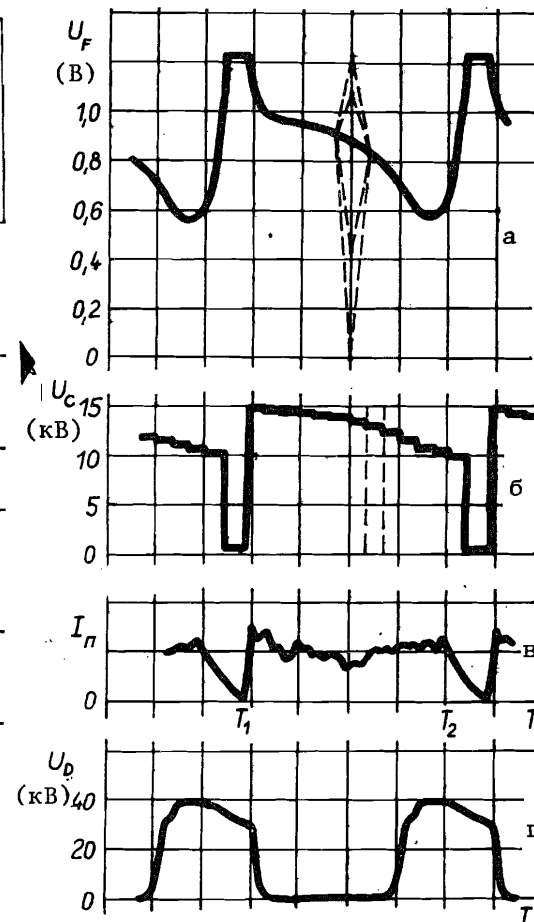
$U_{\text{возб.}}$	$U_c \text{ max}$	$I_{g2}$	$I_k$
мВ	кВ	мА	А
307	15	140	1,25

Задающий генератор обеспечивает программируемые законы изменения частоты и амплитуды напряжения на С-электроде в процессе доускорения протонов. На рис. 6 представлена его блок-схема. Независимо от частоты модуляции ускоряющего /дуантного/ напряжения доускорение происходит в течение 0,85 периода одного цикла. Это определяется схемой автоматического выбора длительности растяжки.



Рис. 6. Блок-схема задающего генератора частоты.

Рис. 7. Временные осциллограммы выходного напряжения модуляторов частоты /а/ и амплитуды /б/, выведенного растянутого пучка /в/ и амплитуды ускоряющего напряжения основного дуанта /г/.



Программируемый модулятор частоты вырабатывает импульсное напряжение, определяющее закон изменения частоты системы растяжки в зависимости от времени. Период сигнала разбит на 20 временных интервалов. В пределах одного интервала амплитуда сигнала может изменяться от нуля до максимально допустимого предела, определяемого полосой пропускания контура "С-электрод - линия" /рис. 7а/. Таким сигналом можно обеспечить плавное изменение частоты, что весьма важно для осуществления режима растяжки. В отличие от частотного амплитудный модулятор упрощен, так как для амплитуды ВЧ-сигнала допустима ступенчатость модуляции /рис. 7б/.

Максимальная девиация частоты задающего генератора составляет около 60 кГц, а средняя частота регулируется от 14,0 до 14,7 МГц. После часового прогрева стабильность мгновенного значения частоты /значения частоты, "приведенного" к выбранной

точке измерения на частотной программе/ составляет около  $\pm 2$  кГц за час. Этого недостаточно для устойчивой работы системы растяжки в течение многосменной эксплуатации ускорителя. Поэтому предполагается улучшение стабильности в 3÷5 раз.

Первоначальные исследования по растяжке пучка показали, что из-за расхождений в частотных программах разных лопаток вариатора распределение интенсивности растянутого пучка во времени оказалось неравномерным и нестабильным. Поэтому были введены для каждой лопатки индивидуальные временные задержки начала работы, что привело к уменьшению временного разброса более чем в десять раз и повысило коэффициент перезахвата более чем в три раза.

При проведении экспериментов по растяжке пучка напряжение на С-электроде  $U_c$  поддерживалось на уровне  $10 \div 15$  кВ. Оптимизация режима растяжки по форме пучка заключалась в выборе временных законов изменения частоты и амплитуды /рис. 7а, б/ для обеспечения полного "заполнения" пучком времени работы программы С-электродом при максимальном коэффициенте перезахвата пучка. Для индикации пучка на выводном окне ускорителя установлена ионизационная камера. На рис. 7в представлена осциллограмма выведенного растянутого пучка. Для сравнения на рис. 7г приведена осциллограмма временной зависимости амплитуды ускоряющего напряжения основного дуанта. Период ускорения составляет 4,29 мс, девиация частоты задающего генератора - 32 кГц, частота перезахвата  $f(T_1) = 14,594$  МГц. На рис. 8 приведены временные осциллограммы выведенного растянутого пучка при сдвиге частоты перезахвата вверх на 6 кГц /а/ и вниз на 10 кГц /б/. Видно, что настройка по частоте является довольно критичной.

Расширение полосы частот до 40 кГц позволило увеличить коэффициент перезахвата на 10% и довести его до 50%. Последующее увеличение девиации к увеличению коэффициента перезахвата не приводит. Для дальнейшего повышения коэффициента перезахвата предполагается повысить напряжение на

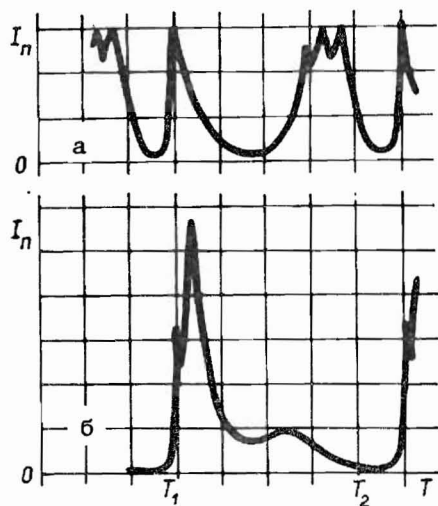


Рис. 8. Временные осциллограммы выведенного растянутого пучка при сдвиге частоты перезахвата вверх на 6 кГц /а/ и вниз на 10 кГц /б/.

С-электроде и осуществить согласование частотных и амплитудных программ основного ускоряющего дуанта и С-электродом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аленицкий Ю.Г. и др. - В сб.: Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1985, т.1, с.289.
2. Ворожцов С.Б., Дмитриевский В.П., Заплатин Н.Л. ОИЯИ, Р9-12882, Дубна, 1979.
3. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, 9-82-110, Дубна, 1982.
4. Глазов А.А., Заплатин Е.Н., Кочкин В.А. ОИЯИ, 9-83-144, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 марта 1987 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Глазов А.А. и др.

P9-87-171

Растяжка ускоренного пучка фазотрона ОИЯИ  
с помощью С-электрода

Использование дополнительного высокочастотного элемента - С-электрода позволяет получить из фазотрона практически непрерывный во времени выведенный пучок. Результаты первых экспериментов по растяжке пучка показали, что коэффициент перезахвата пучка С-электродом составляет 50% при полном "заполнении" пучком времени работы программы С-электрода. Ускоряющее напряжение на С-электроде при этом составляет 10÷15 кВ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод авторов

Glazov A.A. et al.

P9-87-171

The Stretching of the Accelerated Beam  
of the JINR Phasotron by Means of C-Electrode

Using an additional RF element—a C-electrode—permits to get practically time continuous beam extracted from the phasotron. The results of first experiments on beam stretching showed that the coefficient of beam capture by C-electrode is 50% when the beam covers the whole acting time of the C-electrode program. The accelerating voltage on C-electrode is (10-15) kV.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987