

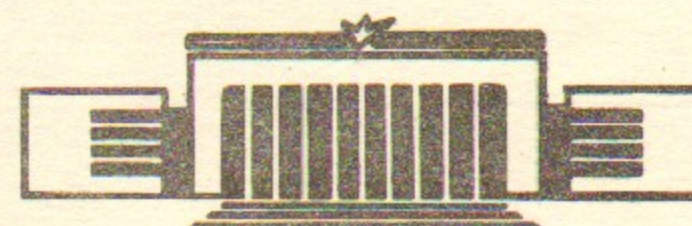
41

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
СО АН СССР

Ю.Г.Бамбуров, С.Б.Вассерман, Е.Н.Кокин,  
Г.И.Кузнецов, В.Ф.Куценко, И.Л.Черток

**ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ  
НАНОСЕКУНДНЫЙ ГЕНЕРАТОР  
ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ЭЛИТ-1М**

ПРЕПРИНТ 82-140



Новосибирск



ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ НАНОСЕКУНДНЫЙ ГЕНЕРАТОР  
ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ЭЛИТ-1М

Ю.Г.Бамбуров, С.Б.Вассерман, Е.Н.Кокин,  
Г.И.Кузнецов, В.Ф.Куценко, И.Л.Черток

А Н Н О Т А Ц И Я

Описан высоковольтный наносекундный генератор монохроматического электронного пучка, имеющий следующие параметры: энергия электронов 1 МэВ, максимальный ток в импульсе 100 А, частота следования импульсов 25 Гц. Система быстрой проводки пучка над щелью позволяет получить импульсы электронного тока на выходе ускорителя длительностью до 1 нс и менее. Все параметры пучка регулируются в широких пределах. Минимальная длительность импульса тока, равная 0,6 нс, получена при энергии 750 кэВ и токе 15 А.



Непосредственной целью разработки было создание ускорителя, предназначенного для проведения исследований по импульсному радиолизу. Для прогресса в этой области фундаментальной химии требуются прежде всего все более короткие импульсы ионизирующих излучений. Группа исследователей в Лейпциге, ГДР [1] использовала до недавнего времени ускоритель электронов ЭЛИТ-1 [2] с длительностью импульса  $\sim 20$  нс, а с 1979 года ведет работу с ускорителем ЭЛИТ-1М, описываемым в настоящей работе, в котором на первом этапе эксплуатации была достигнута длительность импульса электронного пучка 2 нс, а в дальнейшем — уменьшена до 0,6 нс (1982 год).

Ускоритель ЭЛИТ-1М является модернизацией ускорителя ЭЛИТ-1, для которого были разработаны ряд новых узлов, блоков питания и управления.

В качестве генератора высокого (ускоряющего) напряжения используется импульсный генератор на связанных контурах (трансформатор Тесла). Обмотки трансформатора и ускорительная трубка расположены коаксиально внутри бака с диаметром 0,9 м и высотой 0,7 м. Бак заполняется элегазом ( $SF_6$ ) при давлении 8 атм. Над ускорительной трубкой внутри высоковольтного электрода расположен блок управления электронной пушкой 3 (рис.1), питание которого осуществляется через вторичную обмотку трансформатора Тесла, имеющую две параллельные ветви. Электронная пушка имеет катод из  $LaB_6$  с диаметром 30 мм и управляющую сетку. За исключением впускного устройства и связанных с ним систем, устройство ускорителя ЭЛИТ-1М во многом сходно с устройством ускорителей ЭЛИТ-1 и ЭЛИТ-1Б [2,3].

Основные параметры ЭЛИТ-1М:

Энергия ускоренных электронов	— 1 МэВ;
Ток электронов в импульсе	— до 100 А;
Длительность импульса тока	— 0,6 + 200 нс;
Частота следования импульсов	— от разовых до 25 Гц.

Работа при больших длительностях импульса тока электронного пучка 40 — 200 нс осуществляется путем формирования необходимой длительности импульса сеточного напряжения электронной пушки ускорителя. Изменение длительности импульса в этом диапазоне требует замены формирующей линии в блоке управления элект-



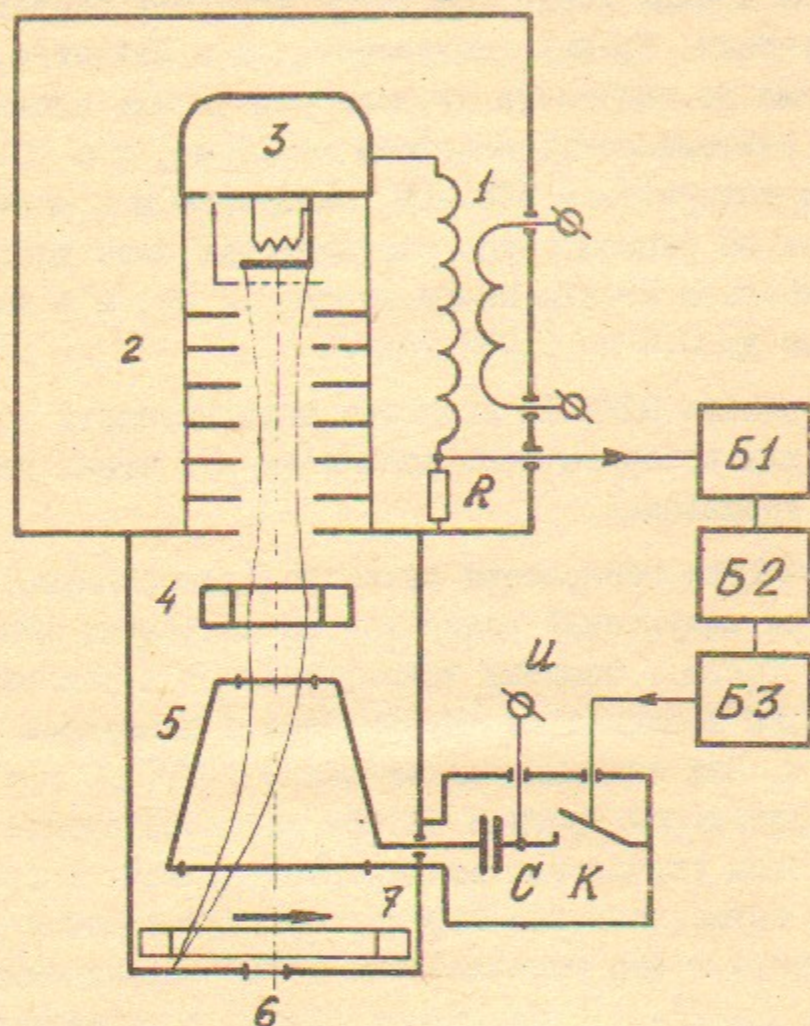


Рис.1. Схема генерации импульсов тока электронного пучка малой длительности в ускорителе ЭЛИТ-ИМ.  
 1 - обмотки трансформатора Тесла;  
 2 - ускорительная трубка; 3 - блок управления электронной пушкой; 4 - фокусирующая линза; 5 - отклоняющий виток; 6 - выходное окно.  
 Блоки: Б1 - формирование синхроимпульсов; Б2 - регулируемая задержка синхроимпульсов; Б3 - формирование импульсов поджига тиратрона (ключа - К).

ронной пушкой\*.

В основном режиме работы ЭЛИТ-ИМ - режиме генерации импульсов электронного пучка малой длительности - формирование импульса тока пучка на выходе ускорителя производится следующим образом (рис.1): Ускоренный в ускорительной трубке 2 пучок электронов длительностью 40 нс проходит фокусирующую линзу 4 и входит в выпускное устройство, где отклоняется от вертикальной оси магнитным полем витка 5. Отклоняющее магнитное поле меняется во времени, заставляя пучок электронов быстро перемещаться в плоскости выходного окна (щели) 6. Из выходного окна через тонкую фольгу пучок электронов выводится в атмосферу. Необходимая скорость изменения и приемлемая форма импульса тока, протекающего по отклоняющему витку 5, обеспечиваются весьма простым генератором, в качестве которого используется колебательный контур. Емкость контура С ( $\sim 1650$  пФ), заряженная до напряжения 25 кВ, разряжается через петлю 5, индуктивность которой вместе с подводами составляет 0,18 мкГн. В качестве коммутирующего элемента контура используется тиратрон ТТИИ-1000/25. Наличие небольшой отрицательной полуволны тока после основной (рис.2б) в данном случае является полезным свойством тиратрона, так как позволяет уводить пучок дальше от оси ускорительной трубки без усложнения системы питания.

Время запуска тиратрона согласовано с временем появления управляющего импульса на сетке электронной пушки. Для формирования импульсов запуска обеих систем используется один и тот же сигнал - ток вторичного контура трансформатора Тесла 1 (рис.1), что позволяет обеспечить высокую стабильность относительного положения во времени обоих импульсов (не хуже 2 нс). Медленные изменения относительного положения импульсов компенсируются регулируемой задержкой синхроимпульсов в блоке Б2 (рис.1).

Временные диаграммы тока (магнитного поля) отклоняющего витка, тока пучка: до и после щели, положения пучка в плоскости выпускной щели и скорости его перемещения приведены на рис.2.

\* Регулирование длительности импульса тока с пульта также принципиально возможно. Оно реализовано, например, в упомянутом ускорителе ЭЛИТ-ИБ [3]; диапазон регулирования 30+1000 нс.



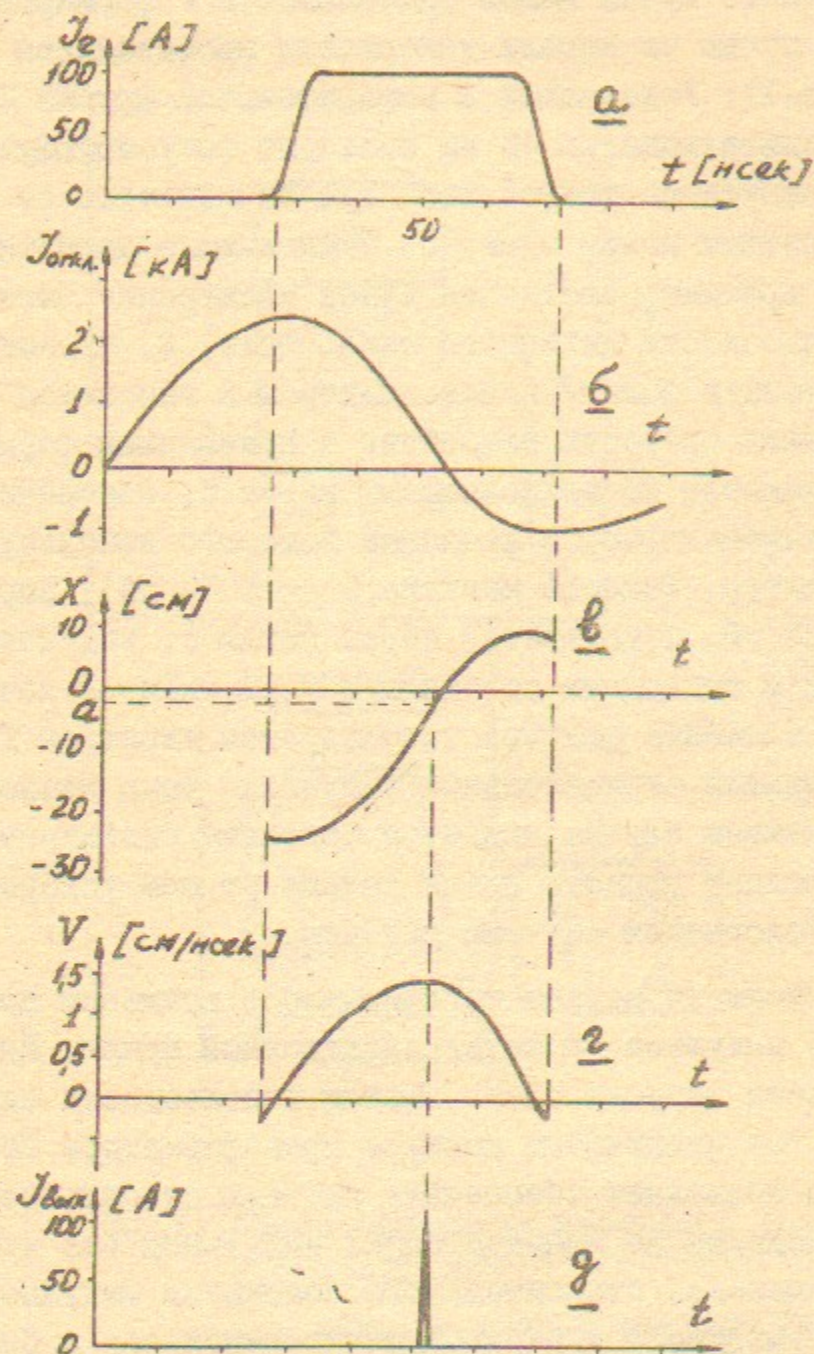


Рис.2. Кривые изменения во времени: а - тока пучка электронов; б - тока, протекающего по отклоняющему витку; в - положения пучка по линии развертки; г - скорости перемещения пучка; д - тока пучка электронов после выпускного окна.

Максимальная скорость перемещения пучка составляет 1,5 см/нс (при энергии электронов 750 кэВ). При этом амплитуда тока в контуре равна  $\sim 2,5$  кА. Максимальная скорость получается на небольшом ( $\sim 1$  см) расстоянии от оси ускорительной трубки (точка а на рис.2в) непосредственно на оси величина скорости несколько ниже (рис.2г). При ширине щели 8 мм и диаметре пучка не более 8 мм длительность импульса на полувисоте составляет  $\sim 0,6$  нс. Снижением тока отклоняющего витка можно плавно увеличивать длительность импульса тока, выходящего из щели, до 15-20 нс.

Разброс энергии электронов, который определяется разрядом емкости вторичного контура трансформатора Тесла ( $\sim 100$  пФ), получается небольшим. Из формулы  $\Delta W/W = \tau \cdot \tau / C_2 \cdot W$  при  $\tau = 100$  А,

$\tau = 200$  нс,  $W = 1$  МэВ имеем:

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{100 \cdot 2 \cdot 10^{-7}}{10^{-10} \cdot 10^6} = 0,02.$$

Для более коротких импульсов разброс энергии соответственно меньше. При  $\tau = 1$  нсек  $\Delta W/W \approx 10^{-3}$ .

Конструкция витка, отклоняющего пучок, и генератора отклоняющего тока (рис.3) подчинены главной цели - обеспечению максимальной скорости изменения тока в контуре, т.е. - получению минимальной индуктивности цепи. Это потребовало установки конденсаторов 7 (типа КИ5-10-3300/30 - 2 шт. последовательно) и коммутирующего тиратрона 6 непосредственно на выпускном устройстве ускорителя. Камера генератора отклоняющего тока заполнена азотом с небольшим избыточным давлением.

Измерение тока пучка внутри выпускного устройства осуществляется поясом Роговского 3. Форма импульса тока на выходе из ускорителя определяется с помощью коаксиального датчика. Внешний цилиндр коаксиала имеет отверстия, через которые часть электронов пучка попадает на внутренний цилиндр. Датчик имеет постоянное волновое сопротивление по всей длине (50 Ом), оба его конца нагружены на кабели с согласованной нагрузкой с тем же волновым сопротивлением. Такой датчик используется при настройке системы.

В заключение отметим, что важную роль в наладке ускорителя



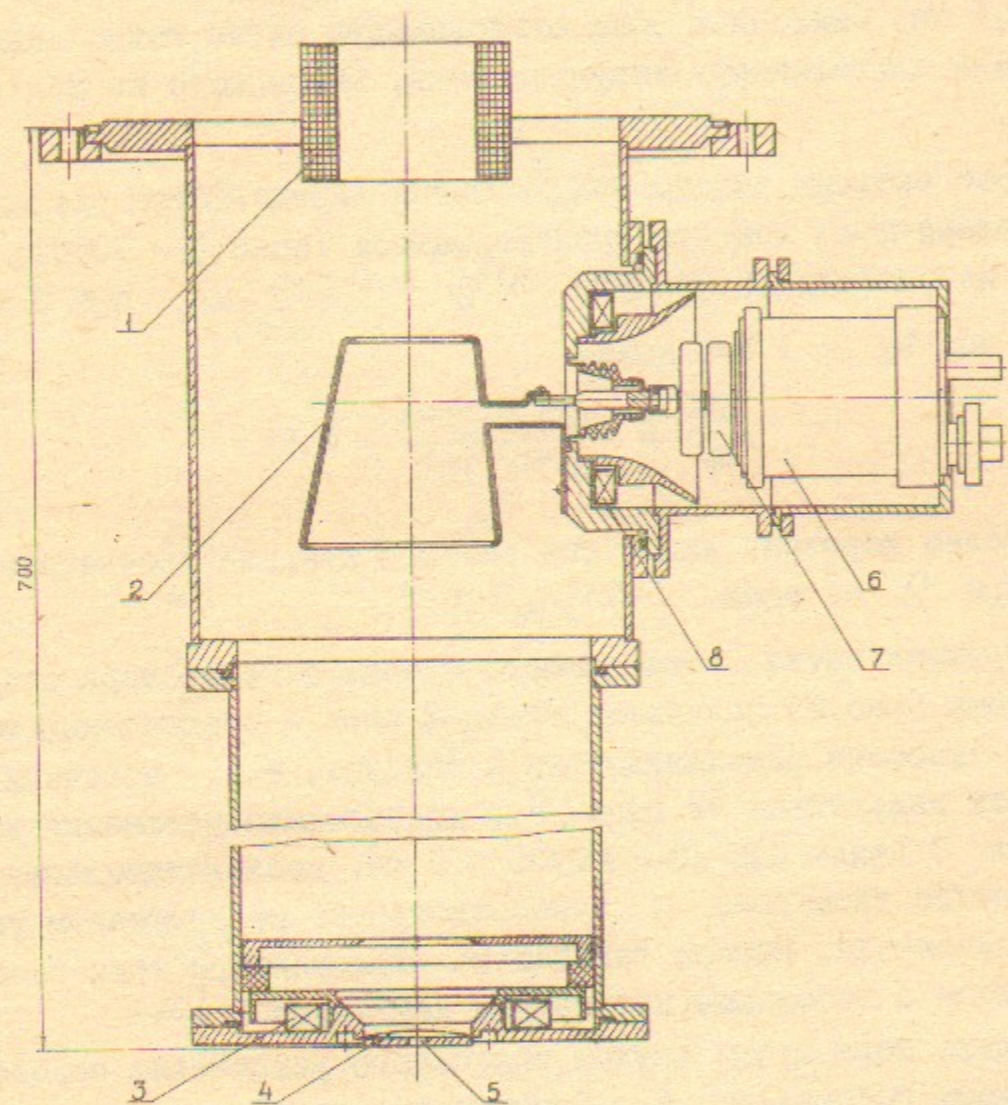


Рис.3. Выпускное устройство ускорителя ЭЛИТ-1М.  
 1 - фокусирующая линза; 2 - отклоняющий виток;  
 3 - пояс Роговского; 4 - фольга; 5 - выпускное  
 окно; 6 - водородный тириатрон ТТИИ-1000/25;  
 7 - конденсатор; 8 - пояс Роговского.

в Лейпциге и улучшении в процессе эксплуатации его характеристик сыграли ведущий экспериментатор на установке д-р.Р.Менерт и Р.Герман (Институт изотопов и радиационных исследований, Лейпциг, ГДР).

Авторы благодарят также Б.И.Гришанова за полезные обсуждения системы быстрой проводки пучка.



Л и т е р а т у р а :

1. D.Bertram, O.Brede, W.Helmstreit, R.Mehnert. Zeitschrift für Chemie, 15. Jg. (1975) Heft 4, 125.
2. Е.А.Абрамян, С.Б.Вассерман. "Атомная энергия", 23, вып.1, 44, 1967.
3. Ю.Г.Бамбуров, С.Б.Вассерман, В.М.Долгушин, В.Ф.Куценко, Н.Г.Хавин, Б.И.Ястреба, "Атомная энергия", 40, вып.4, 308, 1976.

Ю.Г.Бамбуров, С.Б.Вассерман, Е.Н.Кокин,  
Г.И.Кузнецов, В.Ф.Куценко, И.Л.Черток

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ НАНОСЕКУНДНЫЙ ГЕНЕРАТОР  
ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ЭЛИТ-1М

Препринт  
№ 82-140

Работа поступила - 26 октября 1982 г.

---

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов  
Подписано к печати 19.II-1982г. МН 03624  
Формат бумаги 60x90 1/16 Усл.0,5 печ.л., 0,4 учетно-изд.л.  
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 140.

---

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90