

УСКОРИТЕЛЬ УРТ-1М ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2013 г. С. Ю. Соковнин*, М. Е. Балезин, С. В. Щербинин

*Институт электрофизики УрО РАН
Россия, 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106*

**Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19*

Поступила в редакцию 27.12.2011 г.
После доработки 26.07.2012 г.

Описан модернизированный ускоритель электронов УРТ-1М с ускоряющим напряжением до 1 МВ, мощностью пучка электронов 1 кВт, длительностью импульса 100 нс. По сравнению с прототипом — ускорителем УРТ-1 — в нем изменена компоновка узлов, что позволяет размещать его в помещениях высотой до 2.5 м, использованы конденсаторы фирмы Murata, для коммутации применен тиратрон с холодным катодом ТПИ1-10к/75. Создана система автоматизированного мониторинга параметров. Для получения электронного пучка шириной до 400 мм использован металлокерамический катод из нескольких элементов с неравномерностью распределения плотности тока пучка электронов на выходной фольге ~15%. Ускоритель может быть использован в радиационных технологиях в слоях толщиной до 0.3 г/см².

DOI: 10.7868/S0032816213040137

ВВЕДЕНИЕ

Ускорители электронов, применяемые в радиационных технологиях, должны удовлетворять ряду требований, в частности таким, как экономичность, стабильность параметров и надежность, простота в обслуживании и ремонте. Этим требованиям в значительной мере соответствуют ускорители электронов серии УРТ [1], созданные по схеме тиратрон — импульсный трансформатор — полупроводниковый прерыватель тока [2]. Такие ускорители можно использовать для модификации пленочных полимеров [3], радиационной стерилизации [4] и получения нанопорошков [5], т.е. в радиационных технологиях на поверхности, в газах и слоях жидкости, сыпучих или твердых материалов с толщиной слоя до 0.3 г/см².

В процессе эксплуатации ускорителя электронов УРТ-1 [1] были выявлены некоторые недостатки и недоработки, что привело к необходимости его модернизации. Прежде всего, это относится к компоновке ускорителя, которая требовала для его сборки-разборки помещения, оборудованного грузоподъемником с высотой до крюка ~4 м.

Кроме того, во многих случаях требуется облучать объекты с площадью, большей сечения пучка диаметром 170 мм, генерируемого ускорителем. Опыт эксплуатации ускорителя УРТ-0.5 в ЗАО НИИХИТ-2 [2], где он используется для изготовления сепарационного материала для химических источников тока, показал необходимость при

длительной непрерывной работе использования в вакуумном диоде давления не ниже 10⁻² Па, иначе катоды быстро деградируют.

Необходимо отметить, что высокая стоимость и низкая надежность конденсаторов КВИ-3-12 кВ-6800 нФ, а также сложность компоновки секций из пяти последовательно включенных таких конденсаторов при использовании зарядного напряжения ~50 кВ в первом контуре показали целесообразность применения конденсаторов типа DHS фирмы Murata (Япония) [6].

Отметим, что в последние годы произошел заметный прогресс в создании тиратронов с холодным катодом, что позволило существенно увеличить коммутируемое ими напряжение до 100 кВ [7].

Наконец, при непрерывной эксплуатации ускорителей требуется автоматизация мониторинга параметров.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСКОРИТЕЛЯ

Схема ускорителя показана на рис. 1. Импульсный трансформатор *Тр1* намотан на сердечник из двух колец К650 × 470 × 25 мм из пермаллоя 50НП толщиной 20 мкм, между которыми имеется зазор для охлаждения. Коэффициент трансформации равен 10. Обмотки изготовлены из медной ленты толщиной 0.5 мм: для первичной обмотки использовалась лента шириной 40 мм, для вто-

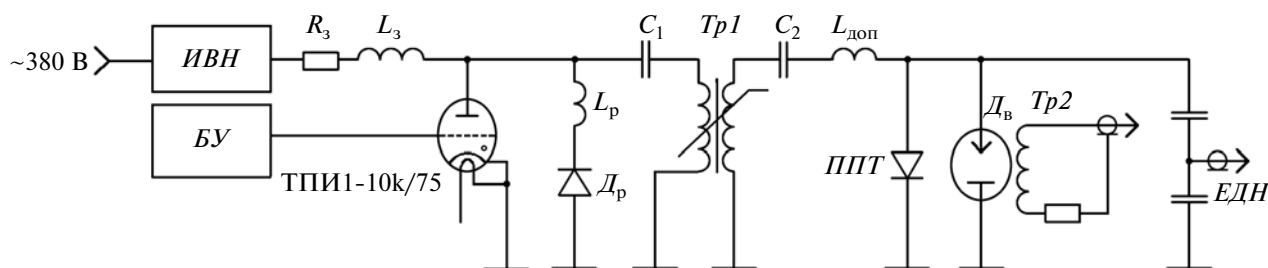


Рис. 1. Схема ускорителя УРТ-1. ИВН – источник высокого напряжения; БУ – блок управления; ППТ – полупроводниковый прерыватель тока; ЕДН – емкостный делитель напряжения; ТПИ1-10к/75 – тиратрон; Тр1 – импульсный трансформатор; Тр2 – трансформатор тока; Д_р – диод рекуперации; Д_в – вакуумный диод; L_з, L_р, L_{доп} – индуктивности зарядная, рекуперации и дополнительная соответственно; C₁ и C₂ – емкости первого и второго контура.

ричной – 15 мм. Первичная обмотка перекрывает примерно 1/3 вторичной. Обе обмотки намотаны на каркас из оргстекла.

Для увеличения электрической прочности дополнительно на каркас вторичной обмотки наклеены накладки из оргстекла. Для более эффективного перемагничивания сердечника импульсного трансформатора используется схема рекуперации, которая состоит из диода Д_р (СДЛ 0.4/160) и катушки индуктивности L_р (20 мкГн). Дополнительная индуктивность подобрана экспериментально (L_{доп} = 8 мкГн).

Емкость конденсатора первого контура C₁ составляет 160 нФ. Он состоит из 80 параллельных секций, содержащих по два включенных последовательно конденсатора DHS4E4G202KTZB (40 кВ, 2000 пФ), что позволяет использовать зарядное напряжение в этом контуре до 70 кВ. Емкость второго контура C₂ равна 47.6 пФ, он состоит из включенных последовательно 42 таких же конденсаторов. Для коммутации используется тиратрон ТПИ1-10к/75 [7]. Полупроводниковый прерыватель тока ППТ содержит две параллельные

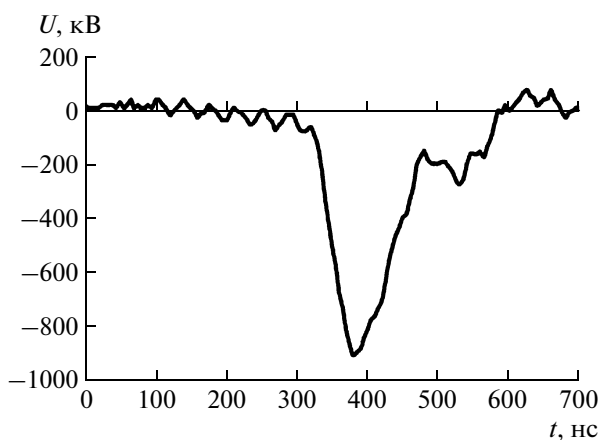


Рис. 2. Осциллограмма импульса напряжения.

ветви из четырех включенных последовательно диодов SOS-180-4 [2]. Блок формирования высоковольтного импульса находится в трансформаторном масле и размещен в металлическом корпусе.

Вакуумный диод ускорителя работает при давлении $\sim 10^{-3}$ Па, создаваемом вакуумным диффузионным насосом НВД-250, который применен вместо агрегата АД-150/25. Это позволило замедлить ухудшение эмиссии катодов, т.е. увеличить срок их службы.

Вакуумный изолятор диода выполнен с экранировкой поверхности диэлектрика [8]. Диод работает с металлодиэлектрическим катодом [9]. Для вывода пучка используются выпускные окна $\varnothing 178$ мм и 450×100 мм. Окна имеют опорные решетки из алюминия с прозрачностью 85%, состоящие из прорезей и ребер шириной 10 и 2 мм соответственно. На решетки укладывается алюминиевая фольга толщиной 50 мкм, по периметру решеток имеется закрытый канал для водяного охлаждения.

Для измерения напряжения на вакуумном диоде использовался емкостный делитель напряжения ЕДН. Измерения распределения поглощенной дозы электронного пучка в алюминии проводились с помощью дозиметрических пленок типа СО ПД(Ф)Р-5/50 [10]. Детекторы устанавливались на расстоянии 5 см от выходного окна вакуумного диода за слоями алюминиевой фольги различной толщины. Измерения проводились по 100 импульсам, подаваемым с частотой 1 Гц. Характерная осциллограмма импульса напряжения приведена на рис. 2.

Для получения электронного пучка большой ширины (до 400 мм) был использован металлокерамический (м.к.) катод [11] из нескольких м.к.-пластин, размещенных на одном катододержателе (рис. 3). Размеры пластин 30×18 мм, пластины выступают за срез градиентного электрода на 10 мм. Неравномерность распределения тока составляет $\sim 15\%$ (рис. 4). Распределением тока можно управлять, изменяя число и размеры м.к.-пластин (рис. 5).

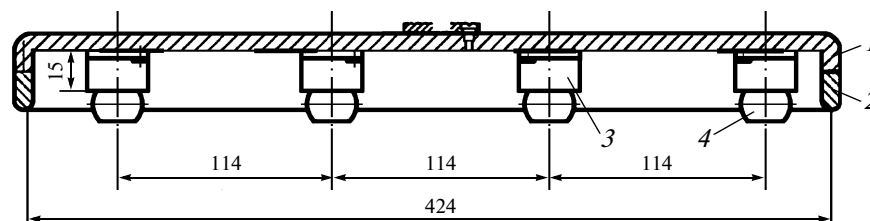


Рис. 3. Схема м.к.-катода с четырьмя пластинами. 1 – катододержатель; 2 – градиентный электрод; 3 – держатель; 4 – м.к.-пластина.

Все высоковольтные элементы схемы помещены в корпус размером $1430 \times 980 \times 816$ мм из углеродистой стали, который имеет монтажное окно во всю боковую сторону, в отличие от предыдущей модификации, в которой элементы монтировались на верхней крышке. Это позволило улучшить компоновку ускорителя и проводить монтаж его элементов вручную, без использования грузоподъемных механизмов (крана), что дало возможность разместить ускоритель в помещении высотой 2.3 м.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ УСКОРИТЕЛЯ

Для обеспечения постоянного контроля работы всех систем ускорителя и непрерывного мониторинга амплитуды напряжения и тока выходных импульсов автоматизированная система контроля (а.с.к.) параметров ускорителя была модернизирована по сравнению с а.с.к. ускорителя УРТ-0.5 [4].

Автоматизированная система контроля содержит блок измерения и блок управления.

Блок измерения содержит 4 измерительных канала амплитуды напряжения и тока наносекундных импульсов.

Каждый канал собран на основе амплитудного детектора и а.ц.п. Сбор информации со всех а.ц.п., а также передача полученной информации в блок управления осуществляется микроконтроллером АТМega8.

Блок управления собран на микроконтроллере АТМega162. В соответствии с командами от персонального компьютера (п.к.) блок устанавливает необходимую частоту следования импульсов, задает старт и остановку импульсов запуска ускорителя. Кроме того, он обрабатывает сигналы с датчиков, контролирующих работу вспомогательных систем ускорителя, таких как вакуумная система, система охлаждения, блокировок. На основании этих сигналов блок управления может остановить подачу импульсов запуска ускорителя и сформировать сигнал аварии. Всю информацию, поступающую от датчиков и блока измерения, блок управления передает в п.к. на один из СОМ-портов через оптическую развязку.

Авторы выражают признательность научному сотруднику В.Г. Ильвесу за помощь в проведении экспериментов.

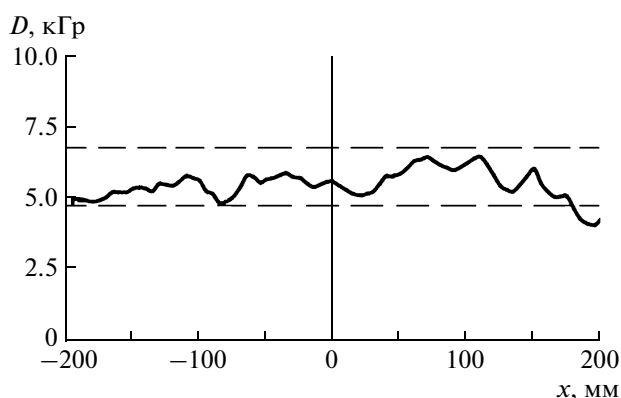


Рис. 4. Распределение дозы для катода длиной 400 мм. Пунктирными линиями показана погрешность измерения относительно среднего значения ($\pm 15\%$).

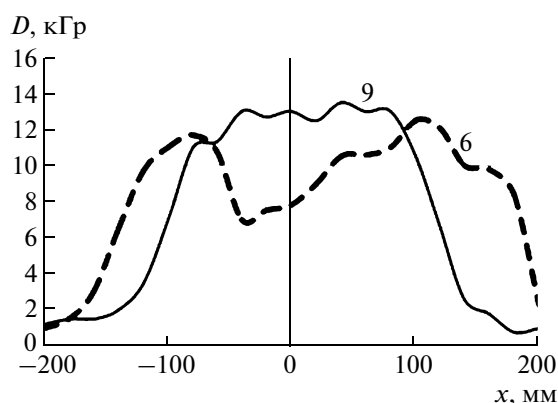


Рис. 5. Изменение распределения дозы в зависимости от количества м.к.-пластин (цифры у кривых). Катод длиной 200 мм, м.к.-пластины 10×10 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соковнин С.Ю. Наносекундные ускорители электронов и радиационные технологии на их основе. Екатеринбург: УрО РАН, 2007; ISBN 5-7691-1840-7.
2. Рукин С.Н. // ПТЭ. 1999. № 4. С. 5.
3. Плетнев В.П., Филимонова Л.Г., Назарова Т.М., Соковнин С.Ю. // Тез. докл. 4 Всероссийской Баховской конференции по радиационной химии. М.: Изд-во ИФХЭ РАН, 2005. С. 100.
4. Соковнин С.Ю., Бalezин М.Е., Булдаков И.А. и др. // Изв. вузов. Физика. 2007. № 10/2. С. 188.
5. Бalezин М.Е., Базарный В.В., Карбовнича Е.А., Соковнин С.Ю. // Российские нанотехнологии. 2011. Т. 6. № 9–10. С. 42.
6. <http://www.murata.com/>
7. Akimov A.V., Logachev P.V., Vochkov V.D. et. al. // Proc. 16th IEEE International Conf. Pulsed Power and Plasma Science. June 17–22, 2007. V. 2. P. 1339.
8. Котов Ю.А., Филатов А.Л., Родионов Н.Е. и др. // ПТЭ. 1986. № 2. С. 138.
9. Котов Ю.А., Соковнин С.Ю., Бalezин М.Е. // ПТЭ. 2000. № 2. С. 112.
10. Абдулов Р.А., Генералова В.В., Гурский М.Н. и др. // Химия высоких энергий. 2002. Т. 36. № 1. С. 26.
11. Котов Ю.А., Соковнин С.Ю., Бalezин М.Е. // Патент РФ № 2158982. Кл. 7Н01J3/02, 1/30 // БИ. 2000. № 31.