

## КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ В АТМОСФЕРЕ

*В.Н. Борискин, В.И. Татанов*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»  
Харьков, Украина*

Исследуется возможность оперативного контроля положения пучка электронов в атмосфере на выходе линейных ускорителей электронов с энергией от 8 до 100 МэВ [1], импульсным током до 1 А, длительностью импульса тока от 1,5 до 4 мкс и рабочей частотой до 300 Гц. Приводятся результаты экспериментальных исследований различных конструкций мониторов. Объекты облучения расположены в атмосфере в бункере ЛУЭ. Сигналы с мониторов используются в системе управления ускорителем.

### КОНСТРУКЦИЯ МОНИТОРА

Монитор состоит из трех рамок с двумя электродами эмиссии и одним собирающим электродом (Рис.1). Собирающий электрод изготовлен из тонкой алюминиевой сетки, к которой подведено положительное напряжение до  $+U_c$ . Электроды эмиссии перпендикулярны друг другу и состоят из алюминиевых пластинок шириной 2 мм и толщиной 0,15 мм или из нихромовых проволочек диаметром 0,2 мм. Внутренние расстояния между электродами 2 мм. Размер рамок зависит от размеров сечения пучка электронов.

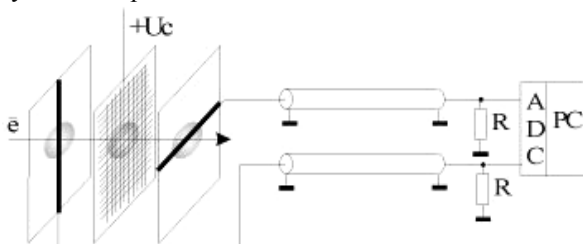


Рис.1. Структурная схема монитора.

ADC - аналого-цифровые преобразователи.

R – согласующее сопротивление; PC – вычислительная машина; e – пучок электронов

При прохождении через пластинки электронов высокой энергии на них возникает положительный сигнал за счет эмиссии с их поверхности вторичных электронов, а при наличии  $U_c$  и за счет тока проводимости ионизированного газа в зазоре между электродами. Сигналы с монитора по кабелям РК75 длиной около 40 м подаются на вход аналого-цифровых преобразователей (АЦП) [2]. Восемьразрядные АЦП обеспечивают преобразование аналоговых сигналов монитора с дискретностью 50 или 100 нс. Информация о параметрах сигналов с монитора выводится на дисплей компьютера оператора ускорителя.

Основные требования к монитору, которые учитывались при разработке:

- “прозрачность” для пучка электронов;
- радиационная и термическая стойкость;
- простота конструкции;
- обеспечение контроля положения пучка на каждом импульсе ускорителя.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОНИТОРА

Исследования и испытания мониторов проводились на импульсных пучках электронов со средней

мощностью от 0,03 до 7 кВт на ускорителях КУТ-30 и ЛУ-40М. Испытания монитора №1 (Рис.2) проводились на ускорителе ЛУ-40М во время экспериментов по облучению различных металлических мишеней [3]. Для облучения использовался пучок электронов с энергией до 90 МэВ, длительностью импульса 1,5 мкс, амплитудой тока 60 мА, частотой следования импульсов 6 Гц. Мишенное устройство устанавливалось в атмосфере на небольшом (60 мм) расстоянии от выпускной фольги. Монитор располагался между фольгой и передней (по отношению к пучку) плоскостью мишени. Центр внутреннего окна монитора совмещался с оптической осью ускорителя.

В работе [4] нами показано, что ток с алюминиевых пластин в данном диапазоне энергий прямо пропорционален заряду пучка электронов.

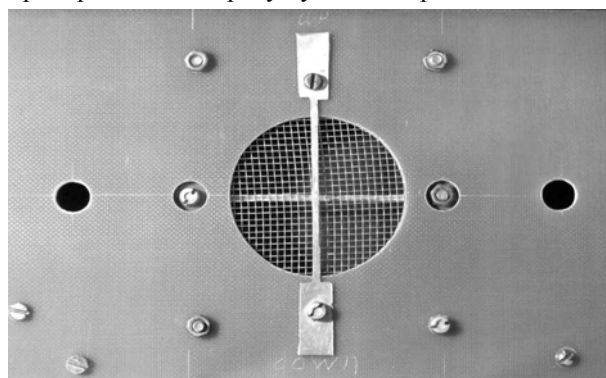


Рис.2. Опытный образец двух электродного монитора №1

На Рис.3 приведены серии импульсных сигналов с пластин монитора. Площадь импульсов прямо пропорциональна суммарному заряду электронов, попавших в пластины монитора, и зависит от величины напряжения  $U_c$ .

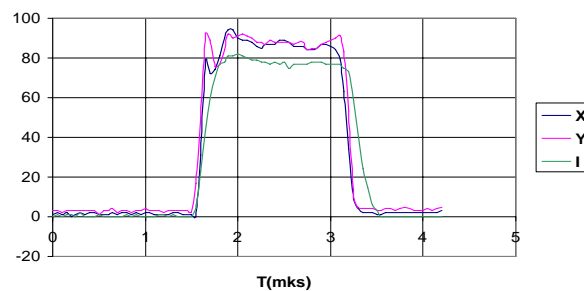


Рис.3. Осциллограммы сигналов с монитора и импульса тока пучка

Диаметр пересечения пучка в плоскости монитора оценивался фотометрическим методом и достигал на полувысоте функции распределения около 6...8 мм (Рис.4).

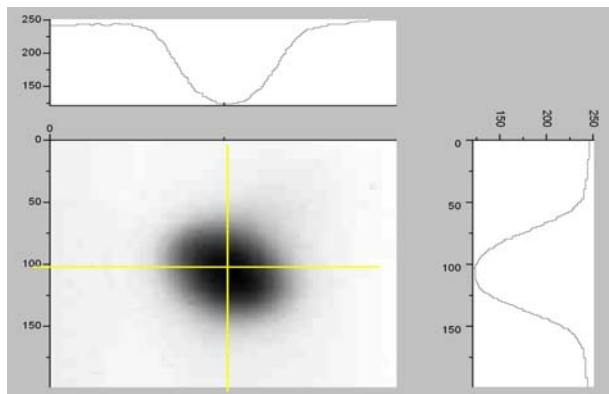


Рис.4. Фотометрия отпечатка пучка на стекле.  
Квадрат изображения 20x20 мм

При напряжении +100 В на собирающем электроде амплитуда импульсов тока с монитора в зависимости от положения пучка изменялась от 3 до 22 мА. С помощью системы управления магнитными элементами в начале эксперимента подбиралось положение центра и размер пересечения пучка электронов на мишени. При этом сигналы с монитора позволяли контролировать и оптимизировать положение и размеры пучка на мишени.

Выше описаний монитор успешно применяется на ускорителе ЛУ-40М на пучках со средней мощностью до 50 Вт. Однако при увеличении мощности пучка монитор перегревается и может разрушиться. При использовании мониторов аналогичной конструкции для контроля более мощных пучков необходимо применять более туго плавкие электроды. Так для пучков электронов с энергией 30 МэВ, длительностью импульса 3.5 мкс, амплитудой тока до 500 мА и частотой прохождения импульсов 6...150 Гц на ускорителе КУТ-30 нами использовались электроды из нихромовых проволочек (Рис. 5,6-8,9).

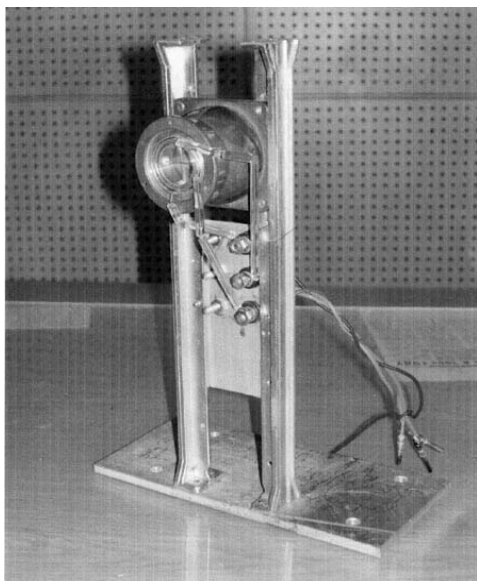


Рис.5. Опытный образец двух электродного монитора №2

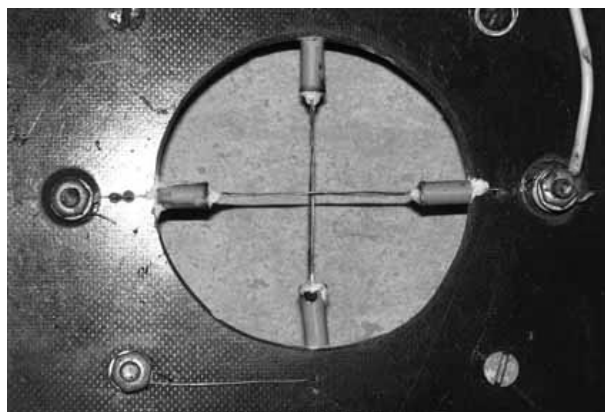


Рис.6. Опытный образец двух электродного монитора №3



Рис.7. Элементы монитора №2 после облучения

Монитор №2 не меняет свои характеристики на пучках со средней мощностью 0.2...2 кВт на протяжении одного часа работы. Потом при подаче на монитор №2 пучка со средней мощностью 5 кВт внешнее обрамление электродов, изготовленное из дюралюминия, расплавилось. Электроды и керамические элементы конструкции сохранились.

Монитор №3 прошел испытания на пучках со средней мощностью 0.3 кВт более 10 часов и не изменил своих характеристик. Однако в месте крепления электродов к текстолитовой конструкции наблюдалось потемнение от нагревания.

Мониторы №4 и №5 прошли испытания на пучках средней мощности до 7 кВт более 20 часов каждый без видимых изменений элементов конструкции.

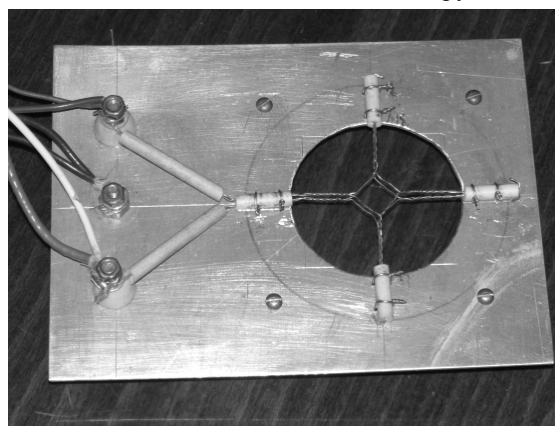


Рис.8. Опытный образец одно электродного монитора №4

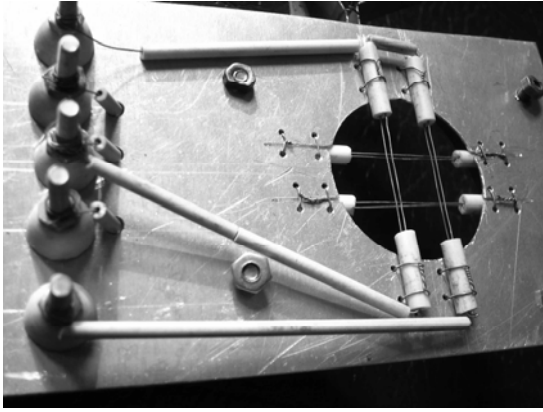


Рис.9. Опытный образец четырех электродного монитора №5

Таким образом, можно сделать вывод, что при работе на пучках электронов со средней мощностью 1...7 кВт мониторы конструкции, описанной выше для мощного ускорителя, могут изготавливаться из керамики с нихромовыми электродами.

Авторы благодарят В.Ф. Жигло за полезные советы и обсуждение полученных результатов.

#### THE POSITION CONTROL OF THE ELECTRON BEAM AT AIR

*V.N. Boriskin, V.I. Tatanov*

The possibility of the operative electron beam position control at the output of the electron linacs in air is investigated. The experimental researches of the different monitor constructions are presented. The electron beams with the energy from 8 to 100 MeV, the pulse current up to 1 A, the pulse width from 1.5 to 4 mks and the pulse frequency up to 300 Hz are studied.

#### КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕННЯ ПУЧКА ЕЛЕКТРОНІВ В АТМОСФЕРІ

*В.М. Борискін, В.І. Татанов*

Досліджується можливість оперативного контролю положення пучка електронів в атмосфері на виході лінійних прискорювачів електронів з енергією від 8 до 100 МеВ, імпульсним струмом до 1 А, тривалістю імпульсу струму від 1,5 до 4 мкс і робочою частотою до 300 Гц. Надано результати експериментальних досліджень різних конструкцій моніторів. Об'єкти опромінення розташовані в атмосфері в бункері ЛПЕ. Сигнали з моніторів використовуються в системі керування прискорювачем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. V.N. Boriskin, V.V. Mitrochenko, S.A. Perezhogin, et al. Monitoring Position of the Electron Beam in the Air // *Abstracts RuPac 2006, BINP, Novosibirsk, Russia*. 2006, p.71.
2. Yu.I. Akchurin, V.N. Boriskin, V.A. Gurin, et al. Control system of electron linac LU-40 // *Problems of Atomic Science and Technology. Ser.: "Nuclear Physics Investigations" (46)*. 2006, №2, p.115-116.
3. V.L. Uvarov, S.P. Karasyov, V.I. Nikiforov, et al. High-intensity Bremsstrahlung Monitoring System for Photonuclear Technologies // *Proc. EPAC2006. Edinburgh, Scotland, 26-30 June*. 2006, p.1235-1237.
4. V.N. Boriskin, V.A. Gurin, V.A. Popenko, et al. Monitoring channel of the technological linac beam cross-section // *Problems of Atomic Science and Technology. Ser.: "Nuclear Physics Investigations" (39)*. 2001, №5, p.147-149.