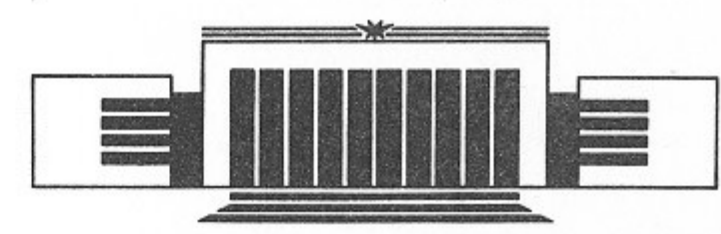




М.Э. Вейс, Б.А. Князев, С.В. Лебедев,  
В.П. Симонов, Г.Г. Фельдман

**ПОРОГОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ  
РЕНТГЕНОВСКОГО ЭОП ПРИ РЕГИСТРАЦИИ  
ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
С ЭНЕРГИЕЙ ДО 1 МэВ**

**ПРЕПРИНТ 88-159**



НОВОСИБИРСК

Пороговая чувствительность  
рентгеновского ЭОП при регистрации  
тормозного излучения  
с энергией до 1 МэВ

М.Э. Вейс, Б.А. Князев, С.В. Лебедев,  
В.П. Симонов, Г.Г. Фельдман

Институт ядерной физики  
630090, Новосибирск 90, СССР

АННОТАЦИЯ

Экспериментально исследован порог чувствительности рентгеновского электронно-оптического преобразователя с микроканальной пластиной в качестве конвертирующего и усиливающего элемента при регистрации изображений на фотопленку. Источником рентгеновского излучения служило тормозное излучение с энергией до 1 МэВ, образующееся при поглощении релятивистского электронного пучка в мишени. Эксперименты проведены как со стационарным пучком с током 1 мА (ускоритель ЭЛВ-4), так и с импульсным пучком с током до 50 кА (ускоритель У-1). Пороговая чувствительность составляла несколько десятков мкДж/см<sup>2</sup> в первом случае и около 1 мкДж/см<sup>2</sup> во втором.

Threshold Sensitivity of an X-Ray  
Electro-Optical Transducer to 1-MeV  
Bremsstrahlung

M.E. Veis, B.A. Knyazev, S.V. Lebedev,  
V.P. Simonov, G.G. Feldman

Institute of Nuclear Physics  
630090, Novosibirsk, USSR

АБСТРАКТ

Threshold sensitivity to a 1 MeV bremsstrahlung of an electro-optical transducer with a MCP used the converter and amplifier was measured. Experiments were performed with both a 1 mA continuous *e*-beam (ELV-4 accelerator) and a 50 kA pulsed *e*-beam (U-1 accelerator). The threshold sensitivity is equal to a few ten  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  in the first case and about  $1 \mu\text{J}/\text{cm}^2$  in the second.

© Институт ядерной физики СО АН СССР

Регистрация изображений источников, излучающих в рентгеновском диапазоне, представляет значительный интерес. В последние годы для конверсии рентгеновского излучения в видимое с одновременным электронным усилением изображения используются рентгеновские электронно-оптические преобразователи (РЭОП) с микроканальными пластинами (МКП). Одним из наиболее распространенных типов излучения является тормозное излучение, возникающее при взаимодействии релятивистского электронного пучка (РЭП) с веществом. В настоящей работе<sup>\*)</sup> экспериментально исследована пороговая чувствительность РЭОП, разработанного во ВНИИ ОФИ [1], по отношению к тормозному рентгеновскому излучению при регистрации изображения на фотопленку для случаев малой ( $3 \cdot 10^{-7}$  с) и большой (5—200 с) длительностей экспонирования.

Эксперименты проводились на ускорителях У-1 [2] и ЭЛВ-4 [3]. Были испытаны два экземпляра РЭОП. Первый (РЭОП-1), с которым и были проведены основные испытания, был взят из серии, изготовленной в 1983 году. Приборы этой серии в течение 5 лет использовались в качестве регистраторов изображения в экспериментах с мощными релятивистскими электронными пучками [4, 5], выполнявшихся в рамках работ по УТС. Один цикл испытаний для сравнения был повторен с другим экземпляром РЭОП, изготовленным в 1987 году (тип МКУ-104ВР).

РЭОП устроен следующим образом. Рентгеновское излучение через коваровое окно толщиной 1 мм и диаметром 40 мм попадает на входную поверхность МКП, играющую роль фотокатода. Фотоэлектроны размножаются в каналах МКП, а затем после выхода из МКП ускоряются в плоско-параллельном промежутке до

<sup>\*)</sup> Настоящая работа выполнена совместно Институтом ядерной физики и ВНИИ оптико-физических измерений (Москва).



4—5 кВ и падают на люминесцентный экран из катодолюминофора К-71, нанесенный на внутреннюю поверхность волоконно-оптического диска. К внешней стороне этого диска прижимается фотопленка. Как известно [6], при использовании в качестве регистратора изображения фотопленки чувствительность последней к свету сильно зависит от многих плохо контролируемых факторов, поэтому полученные в конкретных экспериментах значения чувствительности могут быть в дальнейшем использованы лишь по порядку величины. Тем не менее, даже такие значения, без сомнения, будут полезны при планировании экспериментов.

В качестве меры чувствительности далее мы будем использовать интегральную за время экспонирования плотность энергии  $W$  тормозного излучения на входном окне РЭОП, которую можно вычислить с помощью выражения для энергии тормозного излучения, испускаемого в единицу телесного угла  $\Omega$ :

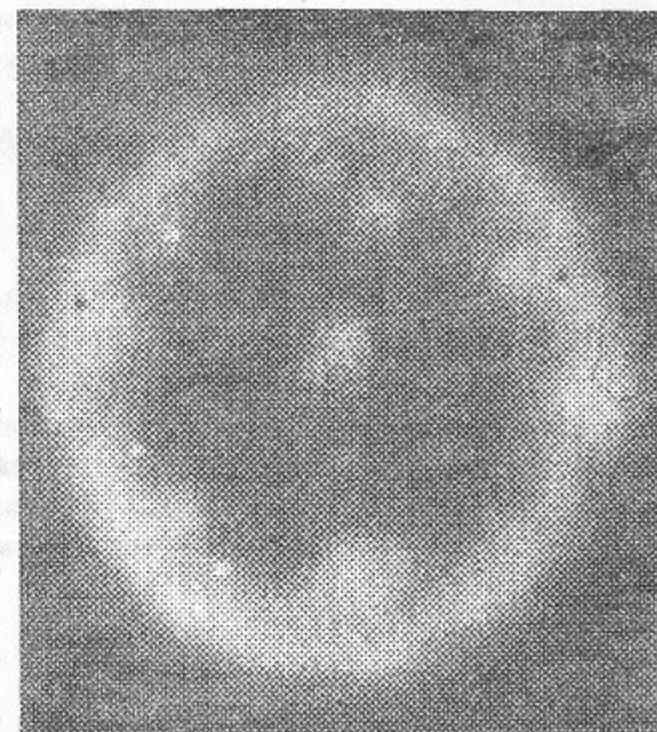
$$\frac{dW}{d\Omega} = \int_0^{E_0} \frac{i\tau}{e} \eta(E_0, Z) f(\varepsilon, \Omega; E_0, Z) \kappa(\varepsilon, Z_\phi, d_\phi) d\varepsilon. \quad (1)$$

Здесь  $i$  — ток релятивистских электронов, падающих на мишень,  $\tau$  — время экспонирования;  $e$  — заряд электрона;  $\eta$  — радиационный выход [7];  $f$  — спектральное распределение тормозного излучения, зависящее от материала мишени и направления наблюдения [8];  $\kappa$  — коэффициент ослабления излучения внешними фильтрами (включая поглощение в самой мишени);  $Z$  и  $Z_\phi$  — зарядовые числа материалов мишени и фильтра;  $d_\phi$  — толщина фильтра;  $E_0$  — энергия электронов в пучке.

Чувствительность РЭОП при относительно низкой мощности источника и больших временах экспонирования определялась на ускорителе ЭЛВ-4. Выведенный в атмосферу пучок с энергией 1 МэВ и током 1 мА падал на расположенную под углом  $45^\circ$  толстую мишень из нержавеющей стали. Диаметр пучка на мишени составлял 4 мм. Рентгеновский ЭОП располагался на расстоянии 3 м от мишени под углом  $90^\circ$  к пучку так, что РЭОП «смотрел» на поверхность мишени, облучаемую пучком. Экспозиция варьировалась за счет изменения длительности облучения и составляла (в единицах заряда пучка, принимаемого мишенью)  $(i\tau) = 3 \div 400$  мК. Полная энергия  $W$  тормозного излучения, падающая на единицу площади входного окна РЭОП, вычислялась согласно (1) с использованием данных, приведенных в работах [7, 8].

На МКП подавалось напряжение 0.8 кВ, а на ускоряющий промежуток 4 кВ. Для регистрации изображения использовались пленки РФ-3 и ФОТО-250 с впечатанным в них сенситометрическим клином, по которому строились характеристические кривые. Пленки проявлялись проявителями N126 и N2, соответственно. Будем считать порогом чувствительности величину  $W$ , при которой на фотопленке регистрируется плотность почернения  $D=0.1$  над вуалью. Определенная таким образом чувствительность оказалась равной для РЭОП-1  $75$  мкДж/см<sup>2</sup> (на ФОТО-250) и  $25$  мкДж/см<sup>2</sup> (на РФ-3). Контрольные измерения на МКУ-104ВР дали величину  $W=80$  мкДж/см<sup>2</sup> (при регистрации на фотопленку РФ-3). Видно, что в режиме работы с большой (порядка десятков секунд) длительностью экспонирования с помощью РЭОП можно зарегистрировать на фотопленке потоки рентгеновского излучения, начиная с плотности энергии несколько десятков мкДж/см<sup>2</sup>. Интересно отметить, что РЭОП, проработавший в течение 5 лет, не потерял чувствительности по сравнению с только что изготовленным.

Измерения в режиме коротких импульсов проводились на ускорителе У-1. Тормозное рентгеновское излучение регистрировалось с помощью камеры-обскуры по схеме, приведенной в [5]. Время экспонирования составляло 0.3 мкс. Энергия электронов при этом составляла 0.75 МэВ, ток пучка порядка 30 кА. Напряжение на МКП составляло 0.8 кВ, на промежутке 5 кВ. Фотографирование производилось «на просвет» через 7-миллиметровую мишень из нержавеющей стали, на которую принимался пучок. Изображение сечения пучка на мишени, полученное с помощью РЭОП при диаметре входного отверстия камеры-обскуры 1 мм, показано на рисунке (для демонстрации были подобраны условия, когда пучок имеет кольцевую структуру). Обработка всех данных показала, что предел чувствительности при регистрации коротких импульсов тормозного излучения (в том числе и при фотографировании с большим отверстием в камере-обскуре через 10-см свинцовый

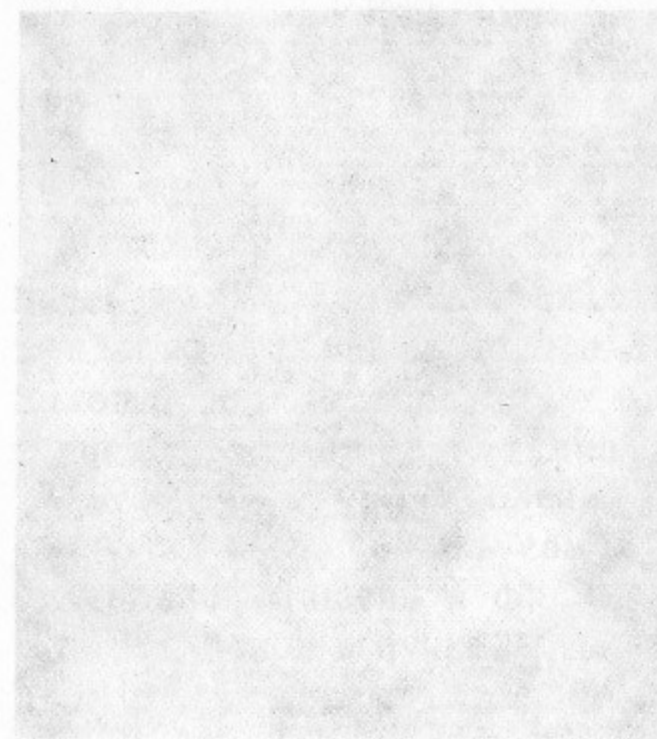


Фотография сечения пучка ускорителя У-1. Диаметр пучка — 20 см.



фильтр) в нашем случае составлял около  $1 \text{ мкДж/см}^2$ . Видно, что в данном случае чувствительность существенно выше, чем при квазистационарном режиме. Вероятной причиной такого различия может быть невыполнение закона взаимозаменяемости для фотопленки в столь широком диапазоне длительностей экспонирования [6], из-за чего чувствительность при больших длительностях падает\*).

Таким образом, в настоящей работе получены практические значения пороговой чувствительности рентгеновских электронно-оптических преобразователей типа МКУ-104ВР при регистрации на фотопленку тормозного рентгеновского излучения электронных пучков с энергией  $0.75-1.0 \text{ МэВ}$ . Установлено, что работоспособность опытного образца прибора полностью сохранилась в течение пяти лет.



\* При работе на ЭЛВ-4 длительность экспонирования при минимальной освещенности составляла десятки секунд, тогда как нижний предел времени экспонирования пленки при работе на У-1 определялся временем высвечивания К-71, которое близко к  $1 \text{ мс}$  [9].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баскаков Н.В., Борисенко И.Р., Брюхневич Г.И., Симонов В.П., Фельдман Г.Г. Планарные электронно-оптические преобразователи с микроканальной пластиной в качестве катода. — ПТЭ, 1987, № 1, с.220.
2. Воропаев С.Г., Князев Б.А., Койдан В.С. и др. Получение мощного микросекундного РЭП с высокой плотностью тока. — Письма в ЖТФ, 1987, т.13, вып.7, с.431.
3. Куксанов Н.К., Салимов Р.А., Черток И.Л., Горбунов В.А. Выпуск в атмосферу концентрированного пучка электронов мощностью до 60 кВт на ускорителе ЭЛВ-4. Докл. 3 Всесоюз. совещ. по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве. Ленинград, 1979, с.123.
4. Горбулин Ю.М., Злотников Д.М., Калинин Ю.Г., Скорюпин В.А., Шашков А.Ю. Фокусировка электронного пучка в сильноточном диоде. — Физика плазмы, 1984, т.10, вып.2, с.282.
5. Воропаев С.Г., Князев Б.А., Ларионов А.В., Лебедев С.В., Чикунов В.В., Щеголов М.А. Определение профиля обратного плазменного тока в экспериментах по магнитной компрессии микросекундного РЭП. — Препринт Института ядерной физики СО АН СССР 87-87, Новосибирск, 1987; IX-th ESCAMPIG, Lisbon, Portugal, 1988.
6. Малышев В.И. Введение в экспериментальную спектроскопию. — М.: Наука, 1979.
7. Тормозная способность электронов и позитронов: Доклад 37 МКРЕ. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
8. Dance W.E., Rester D.N., Farmer B.J. et al. Bremsstrahlung Produced in Thick Aluminium and Iron Target by 0.5 to 2.8 MeV Electrons. — J. Appl. Phys, 1968, v.39, p.2881.
9. Весельницкий И.М., Меламид А.Е. Высвечивание экранов ЭОП с люминофором К-71 при импульсном облучении фотокатода. — 13 Всесоюз. научно-техн. конф. «Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстропротекающих процессов». Тезисы докладов. М: Госкомстандарт, ВНИИОФИ, 1987.

*М.Э. Вейс, Б.А. Князев, С.В. Лебедев,  
В.П. Симонов, Г.Г. Фельдман*

**Пороговая чувствительность  
рентгеновского ЭОП при регистрации  
тормозного излучения  
с энергией до 1 МэВ**

Ответственный за выпуск С.Г. Попов

---

Работа поступила 28 октября 1988 г.  
Подписано в печать 01.12 1988 г. МН 08634  
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0,8 печ.л., 0,7 уч.-изд.л.  
Тираж 250 экз. Бесплатно. Заказ № 159

---

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-  
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и  
отпечатано на ротапункте Института ядерной физики  
СО АН СССР,  
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*