

УДК 539.1.074

Сцинтилляционный волоконно-оптический детектор с вычитанием вклада черенковского излучения

Разработан сцинтилляционный волоконно-оптический детектор импульсного ионизирующего излучения с вычитанием вклада черенковского излучения в свечение сцинтиллятора. Длительность импульсной характеристики детектора со сцинтиллятором СПС-Б18, кабелем длиной 5 м составила $\tau_{0,5} = 1,13$ нс; со сцинтиллятором СПС-Б16, кабелем длиной 10 м – $\tau_{0,5} = 1,94$ нс.

**А. В. Родигин, Т. В. Лойко,
С. Л. Эльяш**

В [1] описан сцинтилляционный волоконно-оптический детектор (ВОД) с наносекундным временным разрешением, включающий в себя сцинтиллятор, пластмассовый оптический кабель, световой фильтр, фотоприемник и усилитель. Использовались сцинтилляторы СПС-Б18 (по паспортным данным $\tau_{0,5} = 0,12$ нс), СПС-Б16 ($\tau_{0,5} = 0,27$ нс), ВС-422Q ($\tau_{0,5} = 0,36$ нс) с максимумом спектра люминесценции соответственно 388 нм, 430 нм, 377 нм, с различными световыходами, отличающимися в несколько раз (3,5 %, 4,4 % и 19 % от антрацена), что в конечном счете определяло чувствительность детектора. Тракт регистрации имеет неоднородную зависимость чувствительности от длины волны света с максимумом в желтом и красном цвете.

Временная калибровка ВОД проводилась с помощью электронного пучка субнаносекундной длительности ($\tau_{0,5} = 0,15$ нс), генерируемого ускорителем СПИН-2 [2]. Сигналы с ВОД регистрировались на осциллографе LeCroy Wavemaster-8500А с полосой пропускания 5 ГГц. Анализ проведенных измерений показал, что наряду со свечением люминесценции сцинтиллятора (синевioletовый диапазон) детектор регистрирует черенковское излучение (ЧИ), лежащее в широком спектральном диапазоне. Спектральная зависимость чувствительности ВОД к ЧИ с учетом спектральных характеристик ЧИ, кабеля и кремниевого PIN-фотодиода приведена на рис. 1. На нем имеется несколько максимумов: в ультрафиолетовом, желтом и красном цвете.

ЧИ перекрывает весь спектр пропускания тракта регистрации $\Delta\lambda \sim 400$ нм и вызывает уширение сигнала ВОД вследствие хроматической дисперсии. Согласно [3] для РММА-кабеля в регистрируемом диапазоне длин волн хроматическая дисперсия имеет среднее значение $D = 1,0$ нс/нм·км. При длине кабеля $L = 5$ м уширение импульса на выходе тракта составит

$$\Delta t = DL\Delta\lambda = 1,0 \cdot 0,005 \cdot 400 = 2,0 \text{ (нс)}.$$

Потребовались дополнительные меры (оптические фильтры), уменьшающие вклад ЧИ в длительность регистрируемого сигнала. Использовались серийно выпускаемые цветные опти-

ческие стекла, изготовленные по ГОСТ [4], светофильтры ПС13 и СС8, избирательно пропускающие спектр сцинтилляционного излучения:

- ПС13 – фиолетовый (пурпурный), пропускающий в диапазонах 340–440 нм и 700–3000 нм;
- СС8 – синий, пропускающий в диапазонах 350–500 нм и 1000–3000 нм.

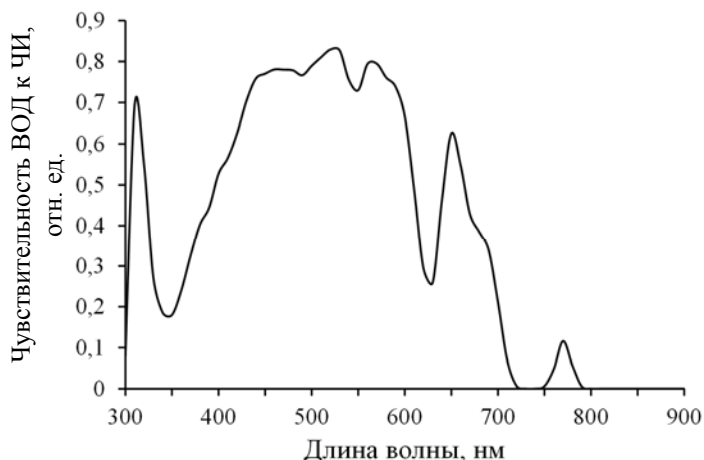


Рис. 1. Спектральная зависимость чувствительности ВОД к ЧИ

При помощи синих и фиолетовых фильтров, соответствующих спектру люминесценции сцинтилляторов, вклад ЧИ в регистрируемое свечение был уменьшен, а импульсная характеристика ВОД – улучшена. С целью уменьшения геометрической дисперсии применялись прозрачные вставки из РММА, устраняющие верхние моды в оптическом кабеле. Использовались оптические кабели длиной 5 и 10 м. Результаты измерения длительности откликов ВОД с различными сцинтилляторами приведены в таблице.

Длительность откликов ВОД на импульс ускорителя СПИН-2

Сцинтиллятор	Оптич. фильтр	Толщина вставки, мм	Длина кабеля, м	Длит. имп., $\tau_{0,5}$, нс
СПС-Б18	нет	нет	5	2,8
СПС-Б18	ПС13	нет	5	1,74
СПС-Б18	ПС13	2	5	1,21
СПС-Б18	ПС13 x 2	нет	5	1,16
СПС-Б18	ПС13 x 2	нет	10	1,64
СПС-Б18	СС8	нет	5	1,7
СПС-Б18	СС8	1,2	5	1,45
СПС-Б16	СС8	нет	5	1,59
СПС-Б16	СС8	1,2	5	1,31
СПС-Б16	СС8	нет	10	2,2
СПС-Б16	СС8	1,2	10	1,7
ВС-422Q	СС8	1,2	5	2,1

Осциллограмма свечения ВОД со сцинтиллятором Б18, кабелем длиной 5 м приведена на рис. 2,а ($\tau_{0,5} = 1,21$ нс). На ней четко видно разделение по времени из-за хроматической дисперсии прихода черенковского (длинноволнового) и смешанного сцинтилляционно-черенковского (коротковолнового) светового импульса. Для учета вклада ЧИ в регистрируемый сигнал сцинтиллятор заменялся радиатором из РММА того же размера (рис. 2,б). При этом принималось, что черенковские отклики РММА и полистирола практически одинаковы вследствие малого различия в коэффициенте преломления этих пластмасс. Последующая операция вычитания сигнала рис. 2,б из сигнала рис. 2,а (с временной и амплитудной привязкой первых пиков) позволила получить сигнал свечения сцинтиллятора, представленный на рис. 2,в ($\tau_{0,5} = 1,13$ нс).

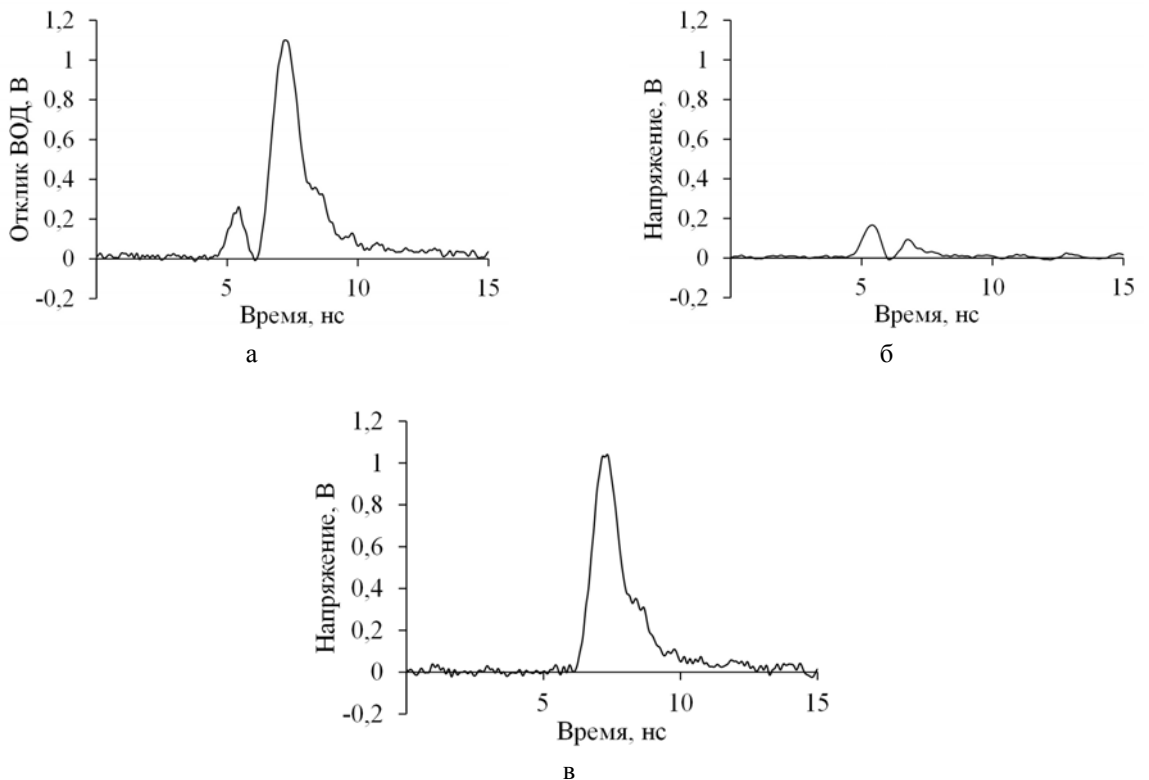


Рис. 2. Импульс электронного излучения СПИН-2, зарегистрированный детектором ВОД с фильтром ПС13 и преобразователем мод: а – со сцинтиллятора СПС-Б18 ($\tau_{0,5} = 1,21$ нс); б – с черенковского радиатора ($\tau_{0,5} = 0,79$ нс); в – полученный вычитанием сигнала рис. 2,б из сигнала рис. 2,а ($\tau_{0,5} = 1,13$ нс)

Автоматическое устранение черенковского вклада в макете ВОД было реализовано при помощи двухканального оптического тракта с фильтрами, фотоприемниками и электронной схемы вычитания. Свечение сцинтиллятора СПС-Б16 передавалось по сдвоенному оптическому кабелю HFBR-EUD длиной 10 м, причем первый канал с синим фильтром СС-8 передавал смешанное сцинтилляционно-черенковское излучение, а второй канал с красным фильтром КС10 [4] – только черенковское. Сигналы подавались на схему, где «красный» сигнал задерживался на ~ 1 нс и вычитался из «синего» [5] с определенным коэффициентом, полученным в результате калибровки. Калибровка проводилась на черенковском РММА-радиаторе взамен сцинтиллятора, при этом изменением задержки и коэффициента вычитания добивались взаимной компенсации «сине-

го» и «красного» черенковских откликов на импульс облучения. Структурная схема ВОД с вычитанием вклада ЧИ в свечение сцинтиллятора приведена на рис. 3. Схема реализована на сверхбыстродействующих операционных усилителях THS4303 и OPA695 фирмы Texas Instruments и обеспечивает субнаносекундное нарастание выходного сигнала в ответ на ступенчатое световое воздействие на Si-PIN-фотодиоды.

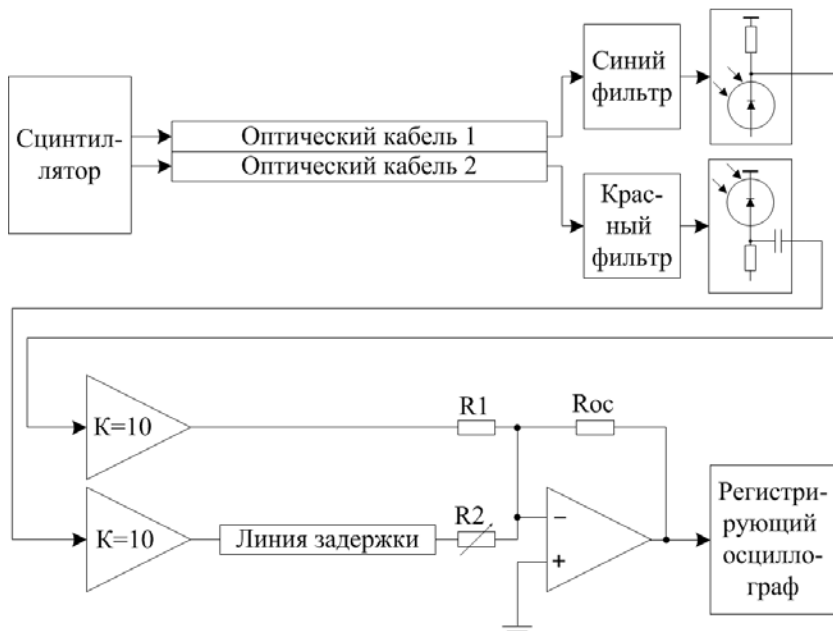


Рис. 3. Структурная схема ВОД с вычитанием вклада ЧИ в свечение сцинтиллятора

Результирующий сигнал подавался на осциллограф LeCroy Wavemaster-8500A с полосой 5 ГГц. На рис. 4 представлен импульс электронного излучения СПИН-2, зарегистрированный ВОД с устройством вычитания.

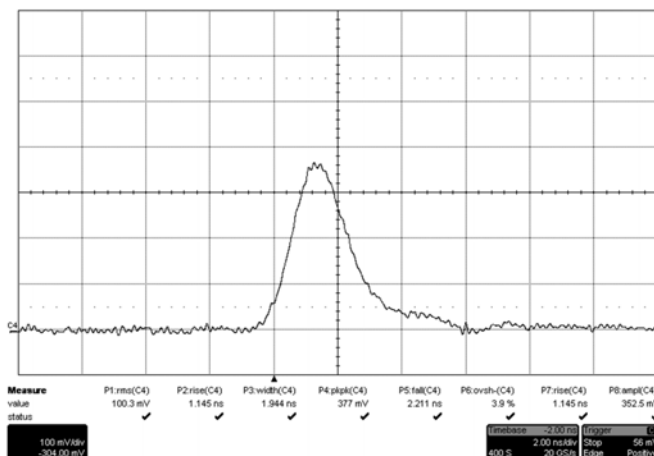


Рис. 4. Импульс электронного излучения СПИН-2, зарегистрированный детектором ВОД со схемой вычитания и преобразователем мод ($\tau_{0,5} = 1,94$ нс)

Отметим, что на практике черенковское излучение может возникать не только в сцинтилляторе, но и в прилегающей к нему части оптического кабеля, если последний не защищен от излучения. Однако и в этом случае схема вычитания ЧИ выполнит свою функцию.

Разработан сцинтилляционный волоконно-оптический детектор импульсного ионизирующего излучения (электронного или рентгеновского) с вычитанием вклада ЧИ в свечение сцинтиллятора. Длительность импульсной характеристики детектора со сцинтиллятором СПС-Б18 и оптическим кабелем длиной 5 м составила $\tau_{0,5} = 1,13$ нс, а со сцинтиллятором СПС-Б16 и кабелем длиной 10 м – $\tau_{0,5} = 1,94$ нс. Использование сцинтиллятора СПС-Б16 увеличивает чувствительность ВОД в ~ 2 раза по отношению к СПС-Б18.

Список литературы

1. Родигин А. В., Лойко Т. В., Эльяш С. Л. Сцинтилляционный волоконно-оптический детектор с наносекундным временным разрешением // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2012. Вып. 3. С. 66–69.
2. Лойко Т. В., Недойкаш Ю. М., Павловская Н. Г. и др. Источник импульсов электронного и рентгеновского излучений субнаносекундной длительности // Приборы и техника эксперимента. 2000, № 4. С. 86–88.
3. Ziemann O., Krauser J., Zamzow P. E., Daum W. POF Handbook // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Second edition, 2008, 2001. С. 133.
4. ГОСТ 9411-91. Стекло цветное оптическое. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
5. Пат. 2529447 РФ, МПК G01T 1/20. Способ регистрации характеристик ионизирующего излучения и устройство для его осуществления / А. В. Родигин, Т. В. Лойко, С. Л. Эльяш // Изобретения. Полезные модели. 2014, № 27.

Scintillation fiber-optic detector with Cherenkov removal

A. V. Rodigin, T. V. Loiko, S. L. Elyash

A scintillation fiber – optic detector of pulsed ionization radiation with subtraction of Cherenkov radiation contribution to scintillator illumination was developed. The pulse response time of the detector with SPS-B18 scintillator, cable 5m long was $\tau_{0,5} = 1.13$ ns. The pulse response time of the detector with SPS-B16 scintillator, cable 10 m long was $\tau_{0,5} = 1.94$ ns.