

АС, функции распределения длины передаваемых сообщений и функции распределения вероятностей, относящиеся к используемым методам доступа.

Стоимостными параметрами $\{C\}$ являются стоимость АС – $C_{АС}$, стоимость КС – $C_{КС}$, стоимость аппаратных и программных средств, необходимых для реализации метода доступа – $C_{дос.}$, стоимость аппаратных и программных средств, необходимых для реализации системы приоритетов – $C_{сис.пр.}$, стоимость аппаратных и программных средств, необходимых для передачи сообщений по дополнительным шинам – $C_{доп. шины}$.

MPLS-сеть является сложной системой, функционирующей в условиях воздействия различных случайных факторов. Для нее характерно наличие большого числа взаимосвязанных элементов, сложность структуры и выполняемых функций. Для объективной оценки качества сервисов, предоставляемых сетью, пользователи и поставщики услуг используются формализованные характеристики качества сетевых услуг, позволяющие оценить тот или иной аспект качества.

Все множество технических характеристик качества транспортных услуг сети как правило относят к одной из следующих групп:

- производительность;
- надежность.

В качестве показателей надежности и быстродействия MPLS-сети принимаются:

- вероятность успешной передачи информации по каналам (каналу) связи E ;
- пропускную способность каналов (канала) связи Π ;
- среднее время доставки сообщений $T_{дос.}$;
- среднее время доставки сообщений i -того приоритета $T_{дос.}^i$, где $i = 1, m$, где m – число приоритетов.

Пропускная способность каналов (канала) связи связана с вероятностью успешной передачи информации по каналам (каналу) связи следующим соотношением:

$$\Pi = jEb, \quad (1)$$

где j – число каналов связи,

$$b = 1 / M(L), \quad (2)$$

где L – длина сообщений.

Нетрудно показать, что среднее время доставки сообщений зависит от пропускной способности каналов (канала) связи следующим образом:

$$T_{дос} = (1 - P_0) / \Pi, \quad (3)$$

где P_0 – вероятность события, заключающегося в отсутствии сообщений в ЛВС.

Таким образом, среднее время доставки сообщений зависит от вероятности успешной передачи информации по каналам (каналу) связи (E) и пропускной способности каналов (канала) связи. В качестве обобщенного показателя, характеризующего эффективность сети целесообразно взять произведение основных показателей эффективности, т.к. пользователи ЛВС заинтересованы в их минимальных значениях, а показатели надежности и быстродействия являются взаимосвязанными.

Литература

1. Спотак, М. «Компьютерные сети и сетевые технологии» / М. Спотак. – Киев: ООО «ТИД ДС», 2012. – 650 с.
2. Романов, А. И. «Основы теории телекоммуникационных сетей» / А. И. Романов. – Киев, 2014. – 152 с.
3. Башлы П. Н. Современные сетевые технологии / П. Н. Башлы. – М. Горячая линия – Телеком, 2016. – 334 с.
4. Олифер, В. Г. «Компьютерные сети» / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – С.-Петербург, 2020. – 958 с.

УДК 539.1.074.3

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Гончаренко И.А., Ильюшонок А.В., Рябцев В.Н.

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Проведен анализ методов измерения и конструкций датчиков поглощенной дозы ионизирующего излучения на основе оптических волноводных структур. Рассмотрены различные физические эффекты, лежащие в основе методов. Показано, что с точки зрения чувствительности перспективными являются датчики на основе микрокольцевых резонаторов на базе кремниевых волноводов, покрытых этилен-пропиленовым полимером.

Ключевые слова: оптический волновод, ионизирующее излучение, доза излучения, сцинтиллятор.

APPLICATION OF OPTICAL WAVEGUIDE STRUCTURES FOR MEASUREMENT OF ABSORBED DOSE OF IONIZING RADIATION

Goncharenko I., Il'yushonok A., Reabtsev V.

University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of Belarus
Minsk, Belarus

Abstract. The measurement methods and structures of the sensor of absorbed dose of ionizing radiation on the base of optical waveguide structures are analysed. The physical effects underlying the methods are considered. It's shown that the sensors comprising microring resonators on the base of silicon waveguides coated with ethylene propylene polymer are the most prospective due to the higher sensitivity.

Key words: optical waveguide, ionizing radiation, radiation dose, scintillator.

Адрес для переписки: Рябцев В.Н., ул. Машиностроителей, 25, г. Минск 220118, Республика Беларусь
e-mail: v.reabtsev@ucp.by

Измерения доз ионизирующего излучения находят широкое применение в атомной энергетике (контроль обстановки в реакторном зале атомных электростанций, в технологических каналах ядерных реакторов), радиационной безопасности (контроль радиационной обстановки), медицине (при радиотерапии онкологических больных, рентгеноскопическом обследовании), в радиологических исследованиях. При этом дозиметры на основе оптических волноводных структур имеют ряд существенных преимуществ перед традиционными устройствами. Они обладают высокой надежностью поскольку устойчивы к электромагнитным, химическим и механическим воздействиям, а также малым весом и поперечными размерами. Для работы оптических волноводных дозиметров не требуется электрического питания чувствительного элемента, поэтому полностью устраняется возможность искрения и возгорания. Такие дозиметры позволяют проводить измерения в режиме реального времени, при этом оператор может находиться на значительном удалении от контролируемого объекта.

К настоящему времени предложен ряд дозиметров с использованием сцинтилляционных материалов, закрепленных на торце оптического волокна. Сцинтилляционный материал подвергается воздействию ионизирующего излучения, в результате чего возникает оптический сигнал люминесценции. Оптический сигнал передается по волокну на приемное устройство, расположенное удаленно от зоны воздействия радиации. Основным недостатком таких устройств являются дополнительные потери оптического излучения при вводе в волокно. Для повышения эффективности оптического соединения сцинтилляционного материала с волокном используются специальные устройства.

В работе [1] в качестве сцинтилляционного материала использован легированный тербием оксисульфид гадолия ($Gd_2O_2S:Tb$), излучающий под воздействием ионизирующего излучения на длине волны 545 нм. Мощность дозы падающего на сцинтилляционный материал ионизирующего излучения анализируется на основе

интенсивности оптического сигнала поступающего через волокно на многопиксельный счетчик фотонов. Для увеличения отношения сигнал/шум сцинтилляционный материал расположен в отверстии в торце волокна.

На похожем принципе основывается дозиметр, описанный в работе [2]. В качестве материала сцинтиллятора также использован оксисульфид гадолия, но легированный эрбием ($Gd_2O_2S:Eu$), излучающий на длине волны порядка 625 нм. Контроль поглощенной дозы осуществляется с помощью однопиксельного счетчика фотонов. Для уменьшения потерь на рассеяние оптического излучения между волокном и сцинтиллятором авторы предложили использовать специальный наконечник, работающий по принципу оптической антенны вытекающих волн.

В работе [3] в качестве материала сцинтиллятора использован кристалл иттрий-алюминиевого граната легированный одновременно церием и тербием ($Ce/Tb:YAG$). Сцинтиллятор связан с передающим волокном через конусообразный отрезок волокна. Использование двух легирующих материалов позволяет достичь высокой эффективности радиолуминесценции. Оптическое излучение фиксируется однофотонной детектирующей системой, состоящей из фотоумножителя и счетчика фотонов.

Высокой эффективностью обладают волоконно-оптические дозиметры, где в качестве чувствительного элемента используется одно или несколько сцинтилляционных волокон, легированных соответствующими примесями, соединенных с фотоприемным устройством транспортным оптическим волокном [4]. При этом сцинтилляционные волокна могут быть распределены в трехмерном пространстве и их продольные оси могут быть сориентированы в разных направлениях относительно оси падающего излучения.

В работе [5] описана конструкция волоконно-оптического дозиметра на основе волокна, легированного элементами, которые под действием ионизирующего излучения образуют долгоживущие центры окраски. Это приводит к ослаблению оптического сигнала в радиационно-чувст-

вительном волокне. Величина ослабления пропорциональна поглощенной дозе. В устройство входит оптический рефлектометр, который строит распределение величины затухания оптического сигнала вдоль радиационно-чувствительного волокна, что позволяет определить пространственное распределение дозы ионизирующего излучения.

В работах [6–9] исследуется влияние ионизирующего излучения на оптические свойства волноводов. В работе [6] рассмотрено воздействие ионизирующего излучения на наборный оптический волновод на основе кремния с подложкой из двуокиси кремния. Вблизи и на границе раздела волновод / подложка под воздействием ионизирующего излучения накапливаются свободные носители заряда, что сопровождается генерацией свободных состояний. В результате увеличиваются потери оптического сигнала в волноводе.

В работах [7–9] показано, что под воздействием ионизирующего излучения увеличивается показатель преломления материала волновода в составе микрокольцевого резонатора. Это приводит к смещению резонансной длины волны резонатора пропорционально поглощенной дозе. Наибольшее смещение достигается в резонаторах на основе кремниевых волноводов с покрытием из этилен-пропиленового полимера. Данный эффект может быть использован в качестве основы для волноводных оптических дозиметров с высокой чувствительностью.

Литература

1. Embedded structure fiber-optic radiation dosimeter for radiotherapy applications / Q. Zhuang [et al.] // Optics Express. – 2016. – Vol. 24, № 5. – P. 5172–5185.
2. Miniaturized fiber dosimeter of medical ionizing radiations on a narrow optical fiber / M.A. Suarez [et al.] // Optics Express. – 2019. – Vol. 27, № 24. – P. 35588–35599.
3. Tapered fiber radiation sensor based on Ce/Tb:YAG crystals for remote γ -ray dosimetry / M. Jia [et al.] // Optics Express. – 2021. – Vol. 29, № 2. – P. 1210–1220.
4. Новиков, С. Г. Оптоволоконная дозиметрическая система на базе сцинтилляционного оптического волокна / С. Г. Новиков, А. А. Черторийский, А. В. Беринцев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 4. – С. 1017–1023.
5. Томашук, А. Л. Волоконно-оптические дозиметры / А. Л. Томашук // Фотон-Экспресс. – 2005. – № 7. – С. 53–55.
6. Boynton, N. Gamma radiation effects on passive silicon photonic waveguides using phase sensitive methods / N. Boynton [et al.] // Optics Express. – 2020. – Vol. 28, № 23. – P. 35192–35201.
7. Total ionizing dose effects on silicon ring resonators / S. Bhandaru [et al.] // IEEE Transactions on nuclear science. – 2015. – Vol. 62, № 1. – P. 323–328.
8. Gamma radiation effects on silicon photonic waveguides / S. Grillanda [et al.] // Optics Letters. – 2016. – Vol. 41, № 13. – P. 3053–3056.
9. Gamma radiation effects in amorphous silicon and silicon nitride photonic devices / Q. Du [et al.] // Optics Letters. – 2017. – Vol. 42, № 3. – P. 587–590.

УДК 004.021

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕСКОЛЬКИХ ИСТОЧНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛА

Горин А.В.

*ФГБОУ «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассматривается комплексирование информации от нескольких источников, у которых неодинаковы дисперсии и качество информации, также приводится оценка эффективности предлагаемого метода. Предлагается для повышения точности измерения производить комплексирование в два этапа: на первом этапе обрабатывать информацию с помощью нечеткой логики для подавления зашумленных источников, на втором этапе непосредственно комплексировать сигналы с помощью квази-оптимального алгоритма. В качестве тестовых сигналов использованы гармонические сигналы, представляющие аддитивную смесь полезного сигнала и белого шума.

Ключевые слова: комплексирование, нечеткая логика, точность, помехозащищенность.