

В. К. БУТЕНКО, к. т. н. Ю. Г. ДОБРОВОЛЬСКИЙ,
Б. Г. ШАБАШКЕВИЧ, В. Г. ЮРЬЕВ

Украина, г. Черновцы, НПФ «Тензор», ЦКБ "Ритм"
E-mail: chtenz@chv.ukrpack.net

Дата поступления в редакцию
22.05 2006 г.

Оппонент к. т. н. И. Л. МИХЕЕВА
(НИИ "Украналит", г. Киев)

ДОЗИМЕТРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТИПА «ТЕНЗОР»

Разработана группа дозиметров ультрафиолетового и видимого излучений, соответствующих требованиям действующей нормативной документации. Предел основной относительной ошибки измерений дозиметров составляет не более $\pm 10\%$.

Ультрафиолетовое (УФ) излучение является одним из определяющих физических факторов, влияющих на жизненные процессы на нашей планете. Основным источником УФ-излучения является Солнце, однако как в производстве, так и в быту, применяются различные искусственные источники УФ-излучения, имеющие различный спектральный состав и мощность. УФ-излучение является причиной многих биологических эффектов в организме человека, что обуславливает актуальность исследований в области физики УФ-излучения. Для обеспечения санитарно-гигиенических требований к условиям труда людей, работающих при повышенной УФ-радиации, разработаны нормативы допустимой УФ-облученности [1, 2] в областях УФ-А (400—315 нм), УФ-В (315—280 нм) и УФ-С (280—200 нм). Согласно существующим нормам (с точки зрения дозиметрии) УФ-излучение разделяется на два диапазона — бактерицидный (200—280 нм) и эритемный (280—400 нм).

Не менее важным фактором, стимулирующим создание средств измерительной техники для контроля параметров УФ-излучения, является увеличение УФ-излучения поддиапазона В (280—315 нм) на поверхности Земли вследствие разрушения озонового слоя [3].

Среди известных импортных измерителей УФ-излучения можно отметить измеритель фирмы Arcoee Instruments Inc. (США) UVM со встроенным широкополосным сенсором (250—400 нм) и UVM-SS с сенсором, присоединенным к микропроцессорному блоку [4]. Общим недостатком этих приборов является недопустимо большое значение пределов основной относительной погрешности измерений, которое составляет $\pm 17\%$, а также невозможность осуществлять измерение в видимом диапазоне спектра.

Радиометр EW-97503-00 фирмы Cole-Parmer (США) состоит из переменных датчиков, соответствующих оптических фильтров, измерительного блока с микроконтроллером, жидкокристаллическим индикатором и клавиатурой [5, 6]. Прибор выполняет функ-

ции как радиометра УФ-излучения, так и дозиметра. Для него характерен недостаточно широкий диапазон измерения энергетической дозы (0—100 Дж/см²), кроме того, этот прибор, как и упомянутые аналоги, не позволяет осуществлять измерение в видимом диапазоне спектра. К тому же измерение энергетической дозы от нулевой отметки (0—100 Дж/см²) является сомнительным, поскольку измерять нулевую дозу ультрафиолетового излучения, как и других видов излучения, весьма сложно.

Радиометры Р-365, Р-380, Р-420, Р-420, представленные фирмой «Техконт» (Россия) [7], состоят из фотодатчика в виде выносной головки и измерительного блока, соединенных между собой гибким кабелем. Приборы предназначены как для измерения энергетической освещенности, так и для измерения экспозиции (дозы) УФ-излучения. Интервалы измерений на длине волны максимума чувствительности (l_{\max}): облученности — 0,001—100 мВт/см²; экспозиции — 0,001—100 Дж/см². Пределы основной относительной погрешности измерений составляют $\pm 12\%$.

Радиометр ультрафиолетового излучения «Фиолент», разработанный научно-производственным предприятием «Конверсия» (Россия, Санкт-Петербург), предназначен для измерения облученности (интенсивности) и экспозиции (энергетической дозы) ультрафиолетового излучения искусственных и естественных (Солнце) источников УФ-излучения в области спектра 240—370 нм. Диапазоны измерения спектра излучения — 0,24—0,37 мкм, облученности — 0,01—10 Вт/м², экспозиции — 0,01—10 кДж/м².

Как показывает анализ аналогов, практически все приборы совмещают в себе функцию как радиометра, так и дозиметра, что естественно, поскольку величина экспозиционной дозы определяется величиной энергетической освещенности. Однако общим недостатком всех приборов являются узкий диапазон измерений дозы и высокие значения основной относительной ошибки измерений. Кроме того, ни один из них не способен измерять величину экспозиционной дозы в видимом диапазоне, что является актуальной задачей, поскольку этот параметр нормируется.

В рамках украинской «Национальной программы улучшения состояния безопасности, гигиены труда и производственной среды на 2001—2005 годы» в НПФ «Тензор» разработан ряд ультрафиолетовых дозиметров, предназначенных для измерения дозы и энергетической освещенности, создаваемой бактерицидной

и эритемной составляющими потоков УФ-излучения естественными и искусственными источниками, а также потоками видимого диапазона.

В зависимости от назначения дозиметры выпускаются в трех вариантах:

— Тензор-51 — дозиметр для измерения бактерицидной составляющей;

— Тензор-52 — дозиметр для измерения эритемной составляющей;

— Тензор-53 — дозиметр для измерения бактерицидной и эритемной составляющих.

Каждый из вариантов исполнения, по желанию заказчика, может комплектоваться радиометрической головкой для измерения энергетической освещенности и энергетической дозы в видимом диапазоне.



Рис. 1. Внешний вид УФ-дозиметра «Тензор-53»

На рис. 1 в качестве примера приведен внешний вид дозиметра «Тензор-53». На рис. 2 приведено схематическое изображение конструкции дозиметра.

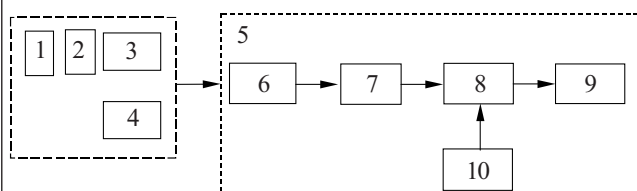


Рис. 2. Схема конструкции дозиметров «Тензор-51, -52, -53»: 1, 2 — светофильтры; 3 — универсальная радиометрическая головка; 4 — радиометрическая головка видимого диапазона спектра; 5 — измерительный блок; 6 — прецизионный преобразователь "ток—напряжение"; 7 — аналогово-цифровой преобразователь; 8 — микроконтроллер; 9 — жидкокристаллический индикатор; 10 — блок клавиатуры

Дозиметр состоит из универсальной радиометрической головки 3 с комплектом светофильтров 1, 2 для измерения излучения соответственно в бактерицидной (220—280 нм) и эритемной (280—400 нм) областях спектра (их спектральные характеристики приведены на рис. 3) и радиометрической головки видимого диапазона спектра 4. В состав дозиметра также входят измерительный блок 5 с прецизионным преобразователем "ток—напряжение" 6 [8], аналогово-цифровым преобразователем 7, микроконтроллером 8, жидкокристаллическим индикатором 9 и блоком клавиатуры 10.

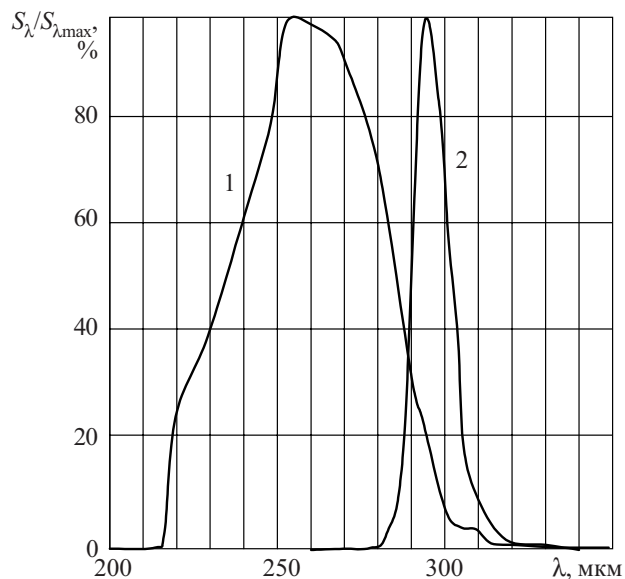


Рис. 3. Относительные спектральные характеристики радиометрической головки с комплектом светофильтров для измерения в бактерицидной (1) и эритемной (2) областях спектра УФ-излучения

Разработанный дозиметр работает следующим образом. После установления соответствующего фильтра (1, 2) на радиометрическую головку 3 с помощью блока клавиатуры устанавливаются диапазоны измерений — время набора дозы УФ-излучения и ее максимальная величина. После этого головка с соответствующим светофильтром освещается потоком УФ-излучения, генерируемого источником определенного спектрального состава. Светофильтр (1 или 2) пропускает оптическое излучение рабочего диапазона длин волн, например бактерицидную составляющую. Поток, попадающий через соответствующий светофильтр на радиометрическую головку 3 (в состав которой входит фотодиод, чувствительный в нужном диапазоне длин волн), генерирует фотосигнал, соответствующий определенной энергии, которая излучается в рабочем диапазоне длин волн. Фотосигнал передается к измерительному блоку 5, где с помощью преобразователя "ток—напряжение" осуществляется предварительное усиление сигнала, цифровая обработка аналогово-цифровым преобразователем и расчет результирующего сигнала микроконтроллером 8, который определяет реальные значения энергетической освещенности и энергетической дозы в выбранном диапазоне длин волн, которые высвечиваются на жидкокристаллическом индикаторе.

Аналогично измеряется энергетическая доза в видимой области спектра. При этом вместо радиометрической головки УФ-диапазона 3 и ее переменных светофильтров 1, 2 к измерительному блоку 5 присоединяется радиометрическая головка 4, чувствительная в видимом диапазоне спектра (380—760 нм).

В предложенной конструкции дозиметра применен фотодиод на основе фосфида галлия УФД20 разработки НПФ «Тензор» [9], который отличается более высоким уровнем чувствительности в сравнении с известными аналогами (по меньшей мере в полтора раза) [10, 11]. (Спектральная характеристика фо-

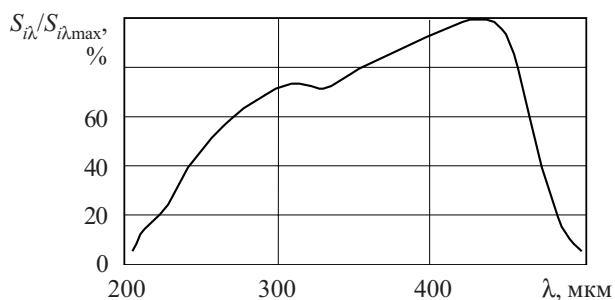


Рис. 4. Относительная спектральная характеристика чувствительности фотодиода УФД20

Характеристика		Норма
Спектральный диапазон измерений	для дозиметрии бактерицидной составляющей, нм	220—280
	для дозиметрии эритемной составляющей, нм	280—400
	для дозиметрии потока видимого излучения, нм	380—760
Диапазон измерения энергетической освещенности, Вт/м ²		1·10 ⁻⁴ —2·10 ²
Диапазон измерения энергетической экспозиции (дозы), Дж/м ²		10—1·10 ⁷
Диапазон установки времени набора дозы		от 1 с до 100 ч
Нелинейность энергетической характеристики, %, не более		2
Нестабильность чувствительности, %, не более		±1
Погрешность таймера, %, не более		±2
Дополнительная погрешность от изменения температуры, %/°С, не более		±0,2
Пределы основной относительной погрешности измерения, %, не более		±10
Средняя наработка на отказ, ч, не менее		5500
Время непрерывной работы, ч		8
Потребляемая мощность, Вт		0,12
Масса, кг		0,6

фотодиода УФД20 приведена на **рис. 4.**) Кроме того, конструкция узлов измерительного блока, в частности преобразователя "ток—напряжение" и аналогово-цифрового преобразователя, позволила осуществить регистрацию диапазона измерений энергетической дозы (экспозиции) в диапазоне от 10 до 1·10⁷ Дж/м². При этом нелинейность энергетической характеристики дозиметра составляет не более ±1% во всем диапазоне измерений.

Дополнительной функцией дозиметра является измерение энергетической освещенности УФ-излу-

чения в диапазоне от 1·10⁻³ до 1·10³ Вт/м². Нелинейность энергетической характеристики дозиметра при измерении этого параметра также не превышает ±1% во всем диапазоне измерений.

Основные параметры и характеристики разработанных УФ-дозиметров приведены в **таблице.**

Таким образом, предложенный дозиметр энергетической освещенности УФ-диапазона по сравнению с известными аналогами имеет расширенный динамический диапазон измерений энергетической дозы — не менее чем на четыре порядка, а энергетической освещенности — не менее чем на два порядка. Кроме того, конструкция предложенного дозиметра обеспечивает измерение энергетической дозы в видимом диапазоне спектра.

По своим метрологическим параметрам предложенный дозиметр полностью соответствует требованиям, предъявляемым к средствам измерительной техники, которые применяются для контроля санитарных норм УФ-облучения людей на рабочих местах и в быту.

Разработанные дозиметры ультрафиолетового излучения рекомендованы Институтом медицины труда АМНУ для использования при проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы оборудования, в санитарной практике для оценки параметров ультрафиолетового излучения производственных источников и дозы облучения на рабочих местах и внесены в Государственный реестр средств измерительной техники Украины.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. СН 4557-88. Санитарные нормы УФ излучения в производственных помещениях. — М.: Изд-во стандартов, 1988.
2. Метрологическое обеспечение безопасности труда. Т. 1.— М.: Изд-во стандартов, 1989.
3. Kerr J. B., McElroy T. C. Evidence large upward trends ultraviolet-B radiation linked to ozone depletion // Science.— 1993.— Vol. 62.— P. 1032—1034.
4. <http://www.apogee-inst.com>
5. Каталог Cole-Parmer Instrument Co., 2001/2002.— С. 2062—2063.
6. <http://www.coleparmer.com>
7. <http://spector.nm.ru/radiometer.htm>
8. Бутенко В. К., Годованюк В. М., Докторович І. В. Прецизійний перетворювач струм—напруга // Науковий вісник ЧНУ. Фізика. Електроніка. (Чернівці.) — 2001.— Вип. 102.— С. 84—85.
9. Биксей М. П., Добровольский Ю. Г., Шабашкевич Б. Г. Фотоприемник ультрафиолетового излучения на основе фосфида галлия // Прикладная физика.— 2005.— № 4.— С. 97—100.
10. <http://www.apogee-inst.com>
11. <http://www.hamamatsu.com>