

И. В. ДОКТОРОВИЧ, д. ф.-м. н. И. М. ФОДЧУК, В. К. БУТЕНКО,  
д. т. н. В. Н. ГОДОВАНЮК, к. т. н. В. В. РЮХТИН, В. Г. ЮРЬЕВ

Украина, г. Черновцы, ЦКБ «Ритм», Черновицкий нац. университет  
им. Юрия Фельдковича  
E-mail: rhythm@chv.ukrpack.net

Дата поступления в редакцию  
06.10 2005 г.  
Оппонент д. т. н. В. В. ДАНИЛОВ  
(ДонНУ, г. Донецк)

## ВЛИЯНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ РТУТНЫХ ЛАМП НА КАЛИБРОВКУ ПРИБОРОВ

*Приведена методика учета нестабильности потока излучения газоразрядных ртутных ламп, позволяющая уменьшить погрешность калибровки УФ-радиометров с  $\pm 10,2$  до  $\pm 8,5\%$ .*

Требование по уровню нестабильности потока излучения при измерениях фотоэлектрических параметров фотоприемников (ФЭП ФП) является первоочередным требованием, которое устанавливается в различного уровня нормативно-технической документации. Например, в стандарте, который определяет методы измерений ФЭП ФП [1], нестабильность потока излучения не должна выходить за пределы  $\pm 2\%$ .

Часто эти пределы оказываются недопустимо большой величиной. Так, при измерениях параметров и характеристик фотоприемников или оптико-электронных приборов, предназначенных для метрологических целей, нестабильность их чувствительности не должна превышать  $\pm 1\%$ . В этих случаях либо подбирают стабильный источник излучения (излучатель с блоком питания), либо вводят опорный канал (его еще называют контрольным каналом или каналом сравнения [2]), и если процесс изменения потока излучения во времени слабозаметен и монотонно меняется ( $0,2\text{—}0,5\%$ /мин), эта нестабильность легко фиксируется и учитывается при измерениях.

Однако в метрологии используются и источники с высокой кратковременной нестабильностью. К ним относятся газоразрядные ртутные лампы [3, с. 95—97], которые широко используются при калибровке оптико-электронных приборов, для проверки спектральных приборов типа МДР-2, -3, -23, КСВУ-6, -23 и т. п., для определения коэффициентов пропускания светофильтров, нестабильности чувствительности ФП при воздействии УФ-излучения, для измерений ФЭП ФП, чувствительных в УФ-диапазоне, и т. д.

Если учесть, что измерения параметров и характеристик разнесены во времени (например калибровка энергетического потока ( $\Phi$ ) или освещенности ( $E_s$ ) с помощью контрольного фотодиода проводится в одно время, а передача сигнала в оптико-электронный прибор — через некоторое время), то влияние нестабильности потока излучения такого источника ( $\delta_p$ ) существенно скажется на общей погрешности измерений. Поэтому вопрос нестабильности УФ-излучения и методики учета ее во время измерений является первоочередным.

В настоящей работе определялись кратковременная нестабильность интегрального по спектральному составу потока излучения ( $\delta_k$ ) и нестабильность спектрального распределения потока излучения ( $\delta_\lambda$ ) ртутных ламп типа ДРТ-220. Измерения нестабильности  $\delta_k$  производилось на протяжении времени  $t_1=2,5$  мин — времени, при котором возникает погрешность при считывании фотосигналов и их обработке; нестабильность  $\delta_\lambda$  определялась на протяжении десяти минут ( $t_2=10$  мин) — времени, за которое вносится погрешность при переносе единицы оптического потока излучения прибору, который калибруется.

Для устранения влияния на результаты исследований нестабильности чувствительности контрольных ФП они предварительно были отобраны и их величина нестабильности не превышала  $\pm 0,3\%$ .

Первая составляющая нестабильности — кратковременная нестабильность  $\delta_k$  — определялась для интегрального по спектральному составу потока излучения ртутной лампы, т. к. в качестве фотоприемника опорного канала используется высокостабильная фотометрическая головка (ГФ), которая чувствительна в видимом диапазоне — в относительно широком спектральном диапазоне. (Необходимо сказать, что термином «интегральный поток» авторы называют поток, который дают линии ртути в видимом диапазоне.)

Измерения  $\delta_k$  проводились на линейном участке энергетической характеристики чувствительности ГФ с интервалом пятнадцать секунд между измерениями при напряжении питания лампы  $U_{\text{раб}}=220$  В.

На рис. 1 приведены результаты измерений. Как видим, величина нестабильности  $\delta_k$  изменяется во времени произвольно (не монотонно), и амплитуда  $\delta_k$  может превышать 3%.

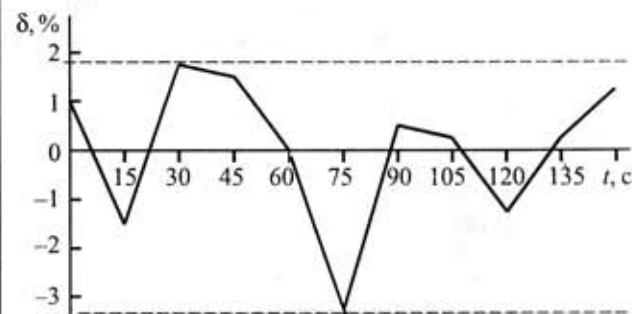


Рис. 1. Кратковременная нестабильность потока излучения ртутной лампы относительно его среднего значения

Согласно [4, 5] в УФ-диапазоне энергетические потоки или освещенность нормируются, а соответственно, и измеряются в поддиапазонах 0,22—0,28 мкм (поддиапазон УФ-С, или просто С), 0,28—0,32 мкм (поддиапазон УФ-В, или В) и 0,32—0,40 мкм (поддиапазон УФ-А, или А). Поэтому вторая составляющая нестабильности — нестабильность спектрального состава потока излучения  $\delta_\lambda$  — определялась в поддиапазонах А, В и С. Для выделения поддиапазонов использовались отобранные по нестабильности чувствительности фотодиоды на основе фосфида галлия [6] и полосовые светофильтры.

Для питания лампы использован блок, который включается в сеть 220 В переменного тока. Поскольку при изменении напряжения питания (в пределах  $\pm 10\%$ ) изменяется температурный режим лампы, а соответственно, изменяется давление паров ртути в колбе лампы (что в свою очередь приводит к изменению спектрального перераспределения потока излучения), то в дальнейших исследованиях определялась нестабильность спектрального состава потока излучения  $\delta_\lambda$  при напряжениях питания лампы  $U_{-10\%}=198$  В (ток лампы  $I_{л1}=2$  А),  $U_{ном}=220$  В ( $I_{л2}=2,6$  А) и  $U_{+10\%}=242$  В ( $I_{л3}=3$  А).

Измерения проводились на установке, структурная схема которой приведена на рис. 2. Фотометрическая головка использовалась в качестве фотоприемника опорного канала как фотоприемника с высокостабильной чувствительностью.

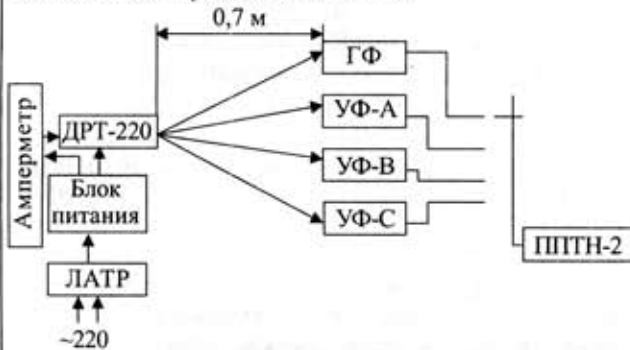


Рис. 2. Структурная схема установки для измерения нестабильности спектрального распределения потока излучения ртутной лампы ДРТ-220 (ЛАТР — трансформатор, ППТН-2 — преобразователь «ток—напряжение»)

Через 30 мин после выхода лампы на рабочий режим при заданом токе последовательно, с шагом в две минуты, было проведено измерение фотосигналов на выходе фотометрической и радиометрических головок, определены средние их значения и относительные отклонения величин фотосигналов от их среднего значения при каждом измерении [7; 8, с. 12—36]. Так как для эксперимента были отобраны стабильные фотоприемники, то относительное изменение фотосигналов характеризует нестабильность потоков излучения.

Результаты расчетов отклонения величин фотосигналов от их среднего значения при каждом измерении приведены в табл. 1. Как видно из данных таблицы, характер изменения потоков излучения в момент измерений сохраняется, т. е. нестабильность в каждом из диапазонов не меняет знак отклонения.

Таблица 1

Отклонения величин фотосигналов от их среднего значения, %

Номер измерения	$U_{раб} = 198$ В				$U_{раб} = 220$ В				$U_{раб} = 242$ В			
	ГФ	А	В	С	ГФ	А	В	С	ГФ	А	В	С
1	+4,2	+4,5	+4,3	+3,1	+0,1	+1,0	+1,6	+2,2	-2,1	-1,6	-1,5	-1,5
2	-5,0	-5,2	-4,3	-3,9	+1,5	+1,0	+1,6	+2,6	+1,4	+2,4	+2,5	+1,2
3	-5,0	-4,5	-5,0	-5,5	+1,5	+1,7	+1,5	+3,2	+2,1	+2,1	+1,9	+2,3
4	+4,2	+4,5	+4,3	+5,5	-3,1	-2,6	-2,8	-2,2	-1,0	-1,6	-1,5	-1,5
5	+1,5	+0,7	+0,7	+0,8	-0,1	-0,2	-1,0	-1,0	-1,4	-1,6	-1,5	-1,0

Таблица 2

Средние значения (А) и относительные изменения (%) фототоков

$U_{раб}$ , В	ГФ	УФ-А	УФ-В	УФ-С
198	$7,6 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 5,0\%$	$6,7 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 5,2\%$	$1,4 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 5,0\%$	$1,3 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 5,5\%$
220	$13 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 3,1\%$	$12 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 2,6\%$	$2,5 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 2,8\%$	$2,3 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 3,2\%$
242	$14 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 2,1\%$	$13 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 2,4\%$	$2,7 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 2,5\%$	$2,6 \cdot 10^{-6}$ А $\pm 2,3\%$

Однако ее значения отличаются по величине. Кроме того, нестабильность потока излучения растет, если напряжение питания меньше номинального.

В табл. 2 приведены результаты определения средних значений фотосигналов и максимальные величины относительного отклонения фототоков.

Сравнивая результаты определения нестабильности потоков излучения ртутной лампы, приведенные на рис. 1 и в табл. 2, видим, что кратковременная нестабильность потока излучения  $\delta_k$  и нестабильность в спектральных поддиапазонах  $\delta_\lambda$  при номинальном напряжении питания ( $U_{ном}=220$  В) суть величины одного уровня.

Как было показано выше (см. табл. 1), во всех измеряемых спектральных диапазонах изменение потоков излучения в момент измерения имеет одинаковый знак, но потоки меняются по-разному. Для оценки уровня этой разницы были определены коэффициенты отличия  $K_i$  в спектральных диапазонах УФ-А, УФ-В и УФ-С:

$$K_{Ai} = \frac{I_{Ai}}{I_{ГФi}}; K_{Bi} = \frac{I_{Bi}}{I_{ГФi}}; K_{Ci} = \frac{I_{Ci}}{I_{ГФi}}, \quad (1)$$

где  $K_{Ai}, K_{Bi}, K_{Ci}$  — коэффициенты отличия в спектральных диапазонах А, В и С, отн. ед.;

$I_{ГФi}, I_{Ai}, I_{Bi}, I_{Ci}$  — фототоки соответственно фотометрической и радиометрических головок, А;

$i$  — порядковый номер измерения.

Результаты определения коэффициентов приведены в табл. 3.

Если в момент определения энергетической освещенности (пусть это будут измерения под номером 1) коэффициент отличия в спектральном диапазоне А при  $U_{раб}=220$  В был равен  $K_{A1}=0,880$ , то и в момент ка-

Таблица 3  
Коэффициенты отличия в спектральных диапазонах

i	U <sub>раб</sub> = 198 В			U <sub>раб</sub> = 220 В			U <sub>раб</sub> = 242 В		
	K <sub>А1</sub>	K <sub>В1</sub>	K <sub>С1</sub>	K <sub>А1</sub>	K <sub>В1</sub>	K <sub>С1</sub>	K <sub>А1</sub>	K <sub>В1</sub>	K <sub>С1</sub>
1	0,886	0,184	0,166	0,880	0,189	0,171	0,879	0,187	0,179
2	0,882	0,185	0,169	0,867	0,186	0,176	0,884	0,188	0,178
3	0,889	0,183	0,167	0,874	0,185	0,177	0,871	0,185	0,179
4	0,886	0,184	0,170	0,876	0,186	0,176	0,867	0,184	0,177
5	0,878	0,185	0,166	0,872	0,184	0,176	0,873	0,185	0,180
K <sub>ср</sub>	0,884	0,183	0,168	0,874	0,186	0,175	0,875	0,186	0,178

Таблица 4  
Средние значения и относительное изменение коэффициентов отличия, %

U <sub>раб</sub> , В	K <sub>А1</sub>	K <sub>В1</sub>	K <sub>С1</sub>
198	0,884 ± 0,7 %	0,183 ± 0,5 %	0,168 ± 1,2 %
220	0,874 ± 0,8 %	0,186 ± 1,6 %	0,175 ± 2,0 %
242	0,875 ± 0,9 %	0,186 ± 1,1 %	0,178 ± 1,1 %

либровки (пусть это будут измерения под номером 3) коэффициент отличия в этом же диапазоне А, но при U<sub>раб</sub>=198 В, должен быть равен K<sub>А3</sub>=0,880. На самом деле коэффициент равен 0,889, т. е. разница составляет 1%.

В табл. 4 приведены результаты определения средних значений коэффициентов отличия и их максимальные величины относительного отклонения. При сопоставлении очевидно, что относительное изменение коэффициентов отличия (табл. 4) значительно меньше относительного изменения фототоков (см. табл. 2).

Ниже приведена методика учета нестабильности потока излучения на основе контроля этого изменения с помощью фотоприемника опорного канала. Структурная схема измерительной установки приведена на рис. 3.

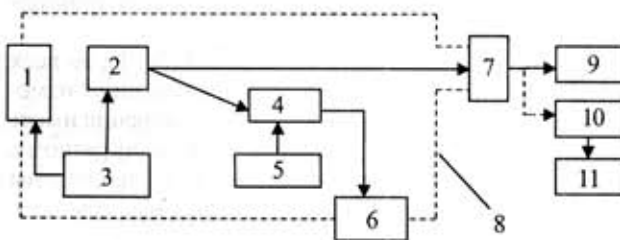


Рис. 3. Структурная схема измерительной установки: 1 — вентилятор; 2 — источник УФ-излучения — лампа ДРТ220; 3 — блок питания источника УФ-излучения; 4 — фотоприемник опорного канала; 5 — блок питания опорного канала; 6 — вольтметр измерительного блока опорного канала; 7 — интерференционные светофильтры; 8 — корпус осветителя; 9 — УФ-радиометр; 10 — эталонная радиометрическая головка (ЭРГ) — контрольный фотоприемник ФД-288; 11 — преобразователь «ток — напряжение» ППТН-2

Энергетическая освещенность E<sub>ε</sub> определяется по формуле

$$E_{\epsilon} = \frac{I_{\kappa}}{S_{\lambda\kappa} A_{\kappa}}, \quad (2)$$

где фототок контрольного фотоприемника, А;  
I<sub>κ</sub> — чувствительность контрольного фотоприемника в измеряемом спектральном диапазоне, А/Вт;  
S<sub>λκ</sub> — площадь фоточувствительного элемента контрольного фотоприемника, м<sup>2</sup>.

Одновременно с измерениями фототока на выходе контрольного фотоприемника (I<sub>κ</sub>) необходимо провести измерения фототока с фотоприемника опорного канала (I<sub>ο</sub>) и определить по формуле (1) коэффициент отклонения K.

Вместо контрольного фотоприемника устанавливается исследуемый УФ-радиометр и производится его калибровка. Если в момент калибровки УФ-радиометра фототок фотоприемника опорного канала (I<sub>ο1</sub>) отличается от I<sub>ο</sub>, необходимо пересчитать величину энергетической освещенности E<sub>ε1</sub> по формуле (3) и произвести калибровку радиометра с уточненным значением освещенности:

$$E_{\epsilon 1} = E_{\epsilon} K I_{\epsilon 1}. \quad (3)$$

Основная относительная погрешность калибровки (δ<sub>ε</sub>) [7] будет равна

$$\delta_{\epsilon} = 1,1 \sqrt{\delta_{\text{гр}}^2 + \delta_s^2 + \delta_i^2 + \delta_c^2 + \delta_o^2}, \quad (4)$$

где δ<sub>гр</sub> — погрешность эталонной радиометрической головки, ±7%;  
δ<sub>s</sub> — нелинейность чувствительности ЭРГ, ±1%;  
δ<sub>i</sub> — нестабильность чувствительности ЭРГ, ±1%;  
δ<sub>c</sub> — относительное изменение коэффициента отклонения, ±2%;  
δ<sub>ο</sub> — погрешность определения фототока опорного канала, ±2%.

Подставив значения, получим величину погрешности δ<sub>ε</sub>=±8,5%. Если учитывать относительное изменение фототоков (±5,5%), эта величина будет равной ±10,2%, что превышает допустимое значение.

### Выводы

1. В работе впервые определена нестабильность энергетических потоков ртутной лампы в видимом диапазоне и в спектральных поддиапазонах УФ-А, УФ-В и УФ-С и установлено, что нестабильность потоков имеет одинаковый характер во всех диапазонах.

2. Нестабильность потоков излучения ртутных ламп растет при уменьшении напряжения (тока) питания лампы. Для уменьшения нестабильности лампы при использовании ее при калибровке УФ-радиометров необходимо использовать стабилизированные источники питания.

3. Приведена методика учета нестабильности потоков излучения, которая позволяет уменьшить погрешность калибровки УФ-радиометров с ±10,2 до ±8,5% при допустимом значении погрешности ±10,0% [5, с. 19].

4. Так как учесть нестабильность потоков излучения ртутных ламп с погрешностью меньше ±2% не удастся, то не рекомендуется использовать ртутные лампы для измерения нестабильности чувствительности фотоприемников.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. ГОСТ 17772—88. Приемники излучения полупроводниковые. Фотозлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотозлектрических параметров и определения характеристик.

2. Измерение параметров приемников оптического излучения / Под ред. Н. Кубатова, Н. В. Васильченко. — М.: Радио и связь, 1983.

3. Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике.— М.: Энергоатомиздат, 1983.  
 4. Гигиеническая оценка и методы контроля оптического излучения производственных источников (методические рекомендации).— Киев: Министерство здравоохранения УССР, 1986.  
 5. Санітарні норми та правила устрою, експлуатації та контролю обладнання, яке генерує електромагнітне випромінювання оптичного діапазону (інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове).— Київ: АМН України, 1997.

6. Шабашкевич Б. Г., Назаренко Л. А., Годованюк В. М. Дослідження фотоелектричних параметрів фотоприймачів, чутливих в УФ-діапазоні // Український метрологічний журнал.— 2004.— Вип. 1.— С. 33—36.  
 7. ГОСТ 8.207—76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдения. Основные положения.  
 8. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдения.— М.: Наука, 1970.

**УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,  
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2005 г.**

**БИБЛИОГРАФИЯ**

**Техническая политика**

Перспективы развития тонкопленочных микросборок.  
*В. Г. Спирин* 1  
 Система базовых несущих конструкций радиоэлектронных средств: состояние проблемы. *Ю. С. Романова, К. Ю. Шерин* 2  
 Система сбора и обработки полетной информации. *М. Д. Скубилин, А. В. Письменов, С. Г. Головин, С. Е. Бублей* 2  
 Быстрее, лучше, дешевле (выставка «Электроника-2004», г. Мюнхен). *В. Д. Вернер, А. А. Ковалев, А. А. Резнев, А. Н. Саудов, Ю. А. Чаплыгин* 4  
 Состояние и проблемы развития радиоэлектронной отрасли Украины. *А. В. Демедюк* 5  
 Основные положения государственной программы развития техники и технологий СВЧ на 2005–2009 гг. в Украине. *В. В. Луговский, Ю. Е. Николаенко, А. В. Демедюк, С. Ю. Ларкин* 6

**Электронные средства: исследования, разработки**

Интегрально-оптические волноводные дисперсионные элементы для ВОЛС. *В. Ш. Берикашвили, Н. Т. Ключник, К. Н. Костенко, М. Я. Яковлев* 2  
 Модель сумматора с параллельным выполнением микроопераций. *О. Н. Паулин, Ф. С. Шапо, Н. И. Синегуб* 2  
 Определение коэффициентов конвективного теплообмена в термозлектрических каталитических генераторах. *В. Я. Михайловский, Ю. И. Фединчук* 2  
 Исследование анизотропных оптикотермоэлементов в случае различных оптических и тепловых режимов. *А. А. Ащеулов, И. В. Гуцул* 4  
 Слаботочные диоды Ганна на основе арсенида галлия для КВЧ-аппаратов. *А. Г. Яцуненко, В. М. Ковтонюк, В. Н. Иванов, Ю. Е. Николаенко* 3  
 Схемотехническое моделирование и синтез активных СВЧ-фильтров на полевых транзисторах Шоттки. *Н. А. Филинчук, А. М. Куземко* 3  
 Использование КНИ-транзистора в качестве генератора колебаний напряжения. *Г. К. Нинидзе, С. П. Паелюк, Л. В. Ищук, В. В. Кушниренко* 3  
 Схемное решение построения матричного регистра. *Г. В. Куценко* 3

Активное термостатирование полупроводниковых СВЧ-генераторов. *А. В. Кравченко, С. В. Плаксин, И. И. Соколовский* 3  
 Классификация и синтез полиномиальных кодеров в системах автоматизированной обработки данных. *И. В. Иванова* 4  
 Трендовые статистики при обработке данных в системах технической диагностики. *В. Ф. Миргород, Г. С. Ранченко* 4  
 Анализ методов синдромного декодирования кодов Рида–Соломона. *И. В. Иванова* 5  
 Проблема прочностной надежности в радиоэлектронике. *В. П. Ройзман* 6  
 Алгоритм гибридного декодирования кодов Рида–Соломона без рекуррентных процедур. *И. В. Иванова* 6  
 Универсальная схема управления мощными высоковольтными МОП-инверторами, исключая тиристорный эффект. *Г. И. Гаврилюк, Т. В. Маевская, В. В. Чечель, Н. Н. Шаран* 6

**Техника сверхвысоких частот**

Автодинные ЧМ-локаторы КВЧ-диапазона с непрерывным излучением. *С. М. Смольский, С. Д. Вотропин, Н. Н. Савков, А. А. Плещев, А. А. Трофилев, П. С. Остапенков, А. М. Федотов* 1  
 Экспериментально-расчетная методика определения комплексных проницаемостей ферромагнитных композитов. *Б. А. Демьянчук* 1  
 Усилители мощности Ку-диапазона для наземной станции спутниковой связи. *Б. Н. Севергин, И. В. Яковлев, П. А. Яцык, А. Н. Балаба* 2  
 Микроволновый нагреватель с конвективным теплообменом. *Б. А. Демьянчук* 2  
 Принципиально новый подход к изготовлению СВЧ-элементов и узлов систем связи и навигации. *А. Г. Яцуненко* 5  
 Проектирование биполярных микросхем широкополосных усилителей диапазона 40 МГц. *В. П. Попов, Н. А. Тимошенко, Г. А. Слободянюк, Г. В. Чернецкая* 6

**Системы передачи и обработки сигналов**

Радиодальномер на основе J-корреляционного метода обработки сигнала. *А. Г. Сорочан* 1  
 Оптимизация цифрового фильтра для оценивания фокусировки изображений в цифровой оптической микроскопии. *В. Н. Боровицкий* 2