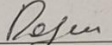


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт электроники и светотехники
Кафедра метрологии, стандартизации и сертификации

УТВЕРЖДАЮ


Зав. кафедрой
канд. техн. наук, доц.

 В. В. Родин
(подпись)

«19» 06 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА


**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ
ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ
НЕПРЕРЫВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Автор бакалаврской работы  06.06.2020 А. В. Агапов
(подпись) (дата)


Обозначение бакалаврской работы БР-02069964-27.03.01-02-20

Направление 27.03.01 Стандартизация и метрология

Руководитель работы

ст. преп.  09.06.2020 Т. А. Чуваткина
(подпись) (дата)

Нормоконтролер

ст. преп.  09.06.2020 Е. Н. Канинина
(подпись) (дата)

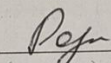
Саранск
2020

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт электроники и светотехники
Кафедра метрологии, стандартизации и сертификации

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой
канд. техн. наук, доц.

 В. В. Родин
(подпись)

«28» 11 2019 г.

ЗАДАНИЕ НА БАКАЛАВРСКУЮ РАБОТУ

Студент Агапов Андрей Валерьевич

1 Тема: «Метрологическое обеспечение измерений фотометрических параметров источников непрерывного излучения».

Утверждена по МордГУ № 9447- с от 28.11.2019 г.

2 Срок представления работы к защите 06.06.2020 г.

3 Исходные данные для научного исследования (проектирования): научная и техническая литература, нормативная документация по теме исследования бакалаврской работы, эксплуатационная документация на средства измерения и источники излучения, ГОСТ Р 8.760-2011 «Измерение энергетических и эффективных характеристик ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей».

4 Содержание бакалаврской работы

4.1 Источники непрерывного излучения

4.2 Методы и средства измерения фотометрических параметров источников ультрафиолетового излучения

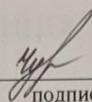
4.3 Экспериментальная часть

5 Приложения

5.1 Схема измерения потока излучения бактерицидных ламп

Руководитель работы

ст. преп.

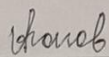


28.11.2019

Т. А. Чуваткина

подпись, дата

Задание принял к исполнению



28.11.2019

подпись, дата

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 68 листов, 6 рисунков, 5 таблиц, 46 формул, 28 использованных источников, 1 приложение.

ИЗЛУЧЕНИЕ, УЛЬТРАФИОЛЕТ, ИСТОЧНИК, ЛАМПА,
ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР, ПОТОК ИЗЛУЧЕНИЯ,
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОСВЕЩЕННОСТЬ, СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ,
МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ.

Объектом исследования являются методики измерений фотометрических параметров источников непрерывного излучения.

Цель работы – метрологическое обеспечение измерений фотометрических параметров источников непрерывного излучения.

В процессе работы проводился анализ параметров и характеристик источников непрерывного излучения, методы и средства измерений параметров бактерицидных ламп.

В результате работы были проведены экспериментальные сравнения существующих методов измерения потока излучения бактерицидных ламп и сделаны рекомендации по введению коэффициентов влияния пространственного распределения потока излучения в один из методов.

Степень внедрения – не внедряется.

Эффективность – повышение точности результатов измерения потока излучения бактерицидных ламп.

Область применения – результаты бакалаврской работы могут быть рекомендованы для применения в испытательных лабораториях проводящих измерения параметров ультрафиолетовых источников.

					БР-02069964-27.03.01-02-20			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Метрологическое обеспечение измерений фотометрических параметров источников непрерывного излучения	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Агапов		<i>Агапов</i>	06.06			4	68
Провер.	Чуваткина		<i>Чуваткина</i>	09.06				
Н. Контр.	Канинина		<i>Канинина</i>	09.06				
Утверд.	Родин		<i>Родин</i>	19.06		ИЭС, каф. МСС, д/о, 461		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Источники непрерывного излучения	9
1.1 Спектр электромагнитного излучения	9
1.2 Основные параметры ультрафиолетового излучения	13
1.3 Виды и основные характеристики источников ультрафиолетового излучения	24
1.3.1 Лампы ртутные бактерицидные ДБ 30 и ДБ 60	28
1.3.2 Лампа разрядная высокого давления трубчатая бактерицидная типа ДРТВ 2000	32
1.3.3 Лампы ртутные низкого давления для облучателей бактерицидных медицинских	32
2 Методы и средства измерения фотометрических параметров источников ультрафиолетового излучения	34
2.1 Выбор рационального метода измерений излучения источников ультрафиолета при их изготовлении в эксплуатацию	38
2.1.1 Требования предъявляемые к прибору	38
2.1.2 Методика измерения излучения ультрафиолетовых источников при их изготовлении	39
2.1.3 Методика измерения ультрафиолетового излучения источников при их эксплуатации	40
2.2 Методика измерений энергетических и эффективных характеристик ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей	41
2.3 Средства измерения ультрафиолетового излучения	49
2.3.1 Выбор приемника ультрафиолетового излучения	50
2.3.2 Выбор светофильтров для выделения различных областей ультрафиолетового спектра	52

2.3.3 Выбор электрической схемы питания приемника излучения	56
3 Экспериментальная часть	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	65
ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное) Схема измерения потока излучения бак- терицидных ламп	68

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

ВВЕДЕНИЕ

Спектром электромагнитного излучения называется совокупность всех значений его интенсивностей для любых длин волн, частот или энергий его квантов. Его принято разбивать на несколько диапазонов. Начиная с коротковолнового конца спектра это: гамма, рентгеновский, ультрафиолетовый, видимый, инфракрасный, микроволновой и радиодиапазоны.

В настоящей бакалаврской работе рассматривается только ультрафиолетовая часть спектра электромагнитного излучения.

Сегодня в промышленности используются разнообразные источники оптического излучения, в том числе ультрафиолетового (УФ), спектральный состав которых влияет на биологические процессы, протекающие в организме человека. Именно эта область спектра оптического излучения – 200 – 400 нм. Она представляет разные фотохимические реакции и разрыв химических связей для многих химических веществ.

Бактерицидные лампы широко используются для уничтожения бактерий, вирусов и других опасных простейших организмов. Свое применение они находят в пищевой промышленности, медицине, водоснабжении и других сферах деятельности. От эксплуатационных характеристик ультрафиолетовых разрядных ламп низкого давления зависит их способность к уничтожению болезнетворных микроорганизмов. В связи с чем, возникает необходимость в достоверной и качественной оценке их параметров и, в частности, одной из основных характеристик – потока излучения.

В связи с этим актуальным является проблема точного измерения характеристик УФ-излучения.

Актуальность темы настоящей бакалаврской работы определяется тем, что существует необходимость в точных методах и средствах измерения параметров бактерицидных ламп.

					БР–02069964–27.03.01–02–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Научная новизна работы заключается в разработки метрологического обеспечения измерения потока излучения бактерицидных ламп.

Цель работы - метрологическое обеспечение измерений фотометрических параметров источников непрерывного излучения.

Для достижения цели работы необходимо выполнить следующие задачи:

- рассмотреть источники излучения, в частности ультрафиолетового излучения и их основные параметры;
- проанализировать методы измерения фотометрических параметров источников ультрафиолетового излучения;
- рассмотреть основные средства измерения фотометрических параметров источников ультрафиолетового излучения и требования к ним;
- провести экспериментальные сравнения методов измерения потока излучения бактерицидных ламп.

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1 Источники непрерывного излучения

1.1 Спектр электромагнитного излучения

Спектром, в широком смысле, называется совокупность всех значений какой-либо величины.

Спектром электромагнитного излучения называется совокупность всех значений его интенсивностей для любых длин волн, частот или энергий его квантов. Его принято разбивать на несколько диапазонов. Начиная с коротковолнового конца спектра это: гамма, рентгеновский, ультрафиолетовый, видимый, инфракрасный, микроволновой и радиодиапазоны. Спектр проявляется в результате разложения – дисперсии – излучения по длинам волн, частотам или энергиям его квантов, либо на основе прямых измерений интенсивностей излучения в различных его диапазонах [15].

Дисперсия электромагнитного излучения производится в его видимом, ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах с помощью спектрометров. Для исследований спектров этого излучения в гамма-рентгеновском или радиодиапазоне используются другое оборудование и специализированные для каждого диапазона методики.

Регистрации интенсивностей энергии излучения для тех или иных длин волн, частот или квантов электромагнитного излучения производится с помощью соответствующих приемников излучения. В зависимости от параметров наблюдаемого объекта – агрегатного состояния и температуры – наблюдатель может зафиксировать три различных типа спектров этого излучения – непрерывный спектр, линейчатый спектр излучения и спектр поглощения.

Электромагнитные излучения с различными длинами волн имеют довольно много различий, но все они, от радиоволн и до гамма-излучения, одной физической природы. Все виды электромагнитного излучения в большей или меньшей степени проявляют свойства интерференции, дифракции и

					БР–02069964–27.03.01–02–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

поляризации, характерные для волн. Вместе с тем все виды электромагнитного излучения в большей или меньшей мере обнаруживают квантовые свойства.

Общем для всех электромагнитных излучений являются механизмы их возникновения: электромагнитные волны с любой длиной волны могут возникать при ускоренном движении электрических зарядов или при переходах молекул, атомов или атомных ядер из одного квантового состояния в другое. Гармонические колебания электрических зарядов сопровождаются электромагнитным излучением, имеющим частоту, равную частоте колебаний зарядов.

При колебаниях, происходящих с частотами от 10⁵ до 10¹² Гц, возникают электромагнитные излучения, длины волн которых лежат в интервале от нескольких километров до нескольких миллиметров. Этот участок шкалы электромагнитных излучений относится к диапазону радиоволн. Радиоволны применяются для радиосвязи, телевидения, радиолокации.

Электромагнитные излучения с длиной волны, меньшей 1 – 2 мм, но большей $8 \cdot 10^{-7}$ м, т.е. лежащие между диапазоном радиоволн и диапазоном видимого света, называются инфракрасным излучением. Инфракрасное излучение испускают любые нагретые тела. Источниками инфракрасного излучения служат печи, батареи водяного отопления, электрические лампы накаливания. С помощью специальных приборов инфракрасное излучение можно преобразовать в видимый свет и получать изображения нагретых предметов в полной темноте. Инфракрасное излучение применяется для сушки окрашенных изделий, стен зданий, древесины.

К видимому свету (или просто свету) относятся излучения с длиной волны примерно от $8 \cdot 10^{-7}$ до $4 \cdot 10^{-7}$ м, от красного до фиолетового света. Значение этого участка спектра электромагнитных излучений в жизни человека исключительно велико, так как почти все сведения об окружающем мире человек получает с помощью зрения. Свет является обязательным условием развития зеленых растений и, следовательно, необходимым условием для существования жизни на Земле.

					БР–02069964–27.03.01–02–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Невидимое глазом электромагнитное излучение с длиной волны меньше, чем у фиолетового света, называют ультрафиолетовым излучением. К ультрафиолетовому излучению относят электромагнитные излучения в диапазоне длин волн от $4 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^{-8}$ м. Ультрафиолетовое излучение способно убивать болезнетворных бактерий, поэтому его широко применяют в медицине. Ультрафиолетовое излучение в составе солнечного света вызывает биологические процессы, приводящие к потемнению кожи человека – загару. В качестве источников ультрафиолетового излучения в медицине используются газоразрядные лампы. Трубки таких ламп изготавливают из кварца, прозрачного для ультрафиолетовых лучей, поэтому эти лампы называют кварцевыми лампами.

Если в вакуумной трубке между нагретым катодом, испускающим электрон, и анодом приложить постоянное напряжение в несколько десятков тысяч вольт, то электроны будут сначала разгоняться электрическим полем, а затем резко тормозиться в веществе анода при взаимодействии с его атомами. При торможении быстрых электронов в веществе или при переходах электронов на внутренних оболочках атомов возникают электромагнитные волны с длиной волны меньше, чем у ультрафиолетового излучения. Это излучение было открыто в 1895 году немецким физиком Вильгельмом Рентгеном (1845–1923). Электромагнитные излучения в диапазоне длин волн от 10^{-14} до 10^{-7} м называются рентгеновскими лучами.

Рентгеновские лучи невидимы глазом. Они проходят без существенного поглощения через значительные слои вещества, непрозрачного для видимого света. Обнаруживают рентгеновские лучи по их способности вызывать определенное свечение некоторых кристаллов и действовать на фотопленку. Способность рентгеновских лучей проникать через толстые слои вещества используется для диагностики заболеваний внутренних органов человека. В технике рентгеновские лучи применяются для контроля внутренней структуры различных изделий, сварных швов. Рентгеновское излучение обладает сильным биологическим действием и применяется для лечения некоторых заболеваний.

					БР–02069964–27.03.01–02–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Гамма-излучением называют электромагнитное излучение, испускаемое возбужденными атомными ядрами и возникающее при взаимодействии элементарных частиц.

Гамма-излучение – самое коротковолновое электромагнитное излучение ($< 10^{-10}$ м). Его особенностью являются ярко выраженные корпускулярные свойства. Поэтому гамма-излучение обычно рассматривают как поток частиц - гамма-квантов. В области длин волн от 10^{-10} до 10^{-14} и диапазоны рентгеновского и гамма-излучений перекрываются, в этой области рентгеновские лучи и гамма-кванты по своей природе тождественны и отличаются лишь происхождением.

Линейчатый спектр электромагнитного излучения в оптическом диапазоне представляет собой ряд параллельных цветных линий или полос. В невидимых глазом диапазонах излучения характер этого спектра такой же. Излучение с таким спектром испускает нагретый газ, находящийся под не слишком высоким давлением. Положения линий в спектре излучения зависят от химического состава излучающего газа или смеси газов.

Непрерывный спектр электромагнитного излучения в оптическом диапазоне представляет собой сплошную непрерывную цветную полосу с изменением цветов от красного до фиолетового. Если бы человеческий глаз был способен воспринимать электромагнитное излучение в других длинах волн, мы бы увидели продолжение этой непрерывной полоски как в сторону коротких, так и длинных волн. Другими словами, если в потоке излучения присутствуют волны любой длины, оно имеет непрерывный спектр. Такой спектр имеет излучение от нагретых твердых тел, а также от солнечной и большинства звездных фотосфер.

Спектр поглощения в оптическом диапазоне представляет собой непрерывный спектр с рядом темных линий или полос. В невидимых глазом диапазонах излучения характер этого спектра такой же. Спектром поглощения обладает электромагнитное излучение, которое прошло сквозь газ, имеющий

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

температуру, меньшую, чем у объекта, испускающего это излучение.

Положение темных линий и полос в спектре зависит от химического состава поглощающего газа или смеси газов.

В настоящей бакалаврской работе рассматривается только ультрафиолетовая часть спектра электромагнитного излучения [3].

1.2 Основные параметры ультрафиолетового излучения

Одной из основных характеристик излучения является его спектральный состав. Спектральное распределение выражает зависимость значения какой-либо спектральной энергетической величины от длины волны. Эта зависимость может быть представлена в виде как таблиц, так и графика. По оси ординат графика могут откладываться значения любой спектральной энергетической величины в абсолютных или относительных единицах, например спектральной плотности потока излучения $\Phi_{e,\lambda}$, Вт/нм, определяемой как отношение потока излучения Φ_e , Вт в узком интервале длин, к этому интервалу $\delta\lambda$, нм. Принимается, что в этом интервале значение спектральной плотности излучения остается неизменным. По оси абсцисс откладывается значение длин волн спектрального диапазона. Наличие распределения спектральной плотности потока излучения $\Phi_{e,\lambda}$ источника позволяет определить его интегральный поток излучения Φ_e в любом участке диапазона длин волн по формуле [6]:

$$\Phi_e = \delta\lambda \sum_{i=1}^n \Phi_{e,\lambda,i} \quad (1)$$

где i – порядковый номер спектрального интервала.

Если значения спектральной плотности потока приведены в относительных единицах $\Phi_{\lambda,i(отн.)}$, то их можно абсолютизировать с помощью выражения:

					БР–02069964–27.03.01–02–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

$$\Phi_{e,\lambda,i} = \Phi_{\lambda,i(\text{отн.})} \cdot K_a \quad (2)$$

В этом выражении абсолютирующий множитель K_a в спектральном диапазоне длин волн $\lambda_l - \lambda_n$ вычисляется по формуле:

$$K_a = \frac{\Phi_e}{\Delta\lambda \sum_{i=1}^n \Phi_{\lambda,i(\text{отн.})}} \quad (3)$$

Важнейшей характеристикой источника является распределение его потока излучения в пространстве. Под пространственной плотностью потока излучения в данном направлении понимаются силу излучения, равную отношению потока излучения Φ_e , распространяющегося внутри телесного угла Ω , к этому углу. Телесный угол равен отношению площади поверхности ΔS , вырезанной на сфере единичного размера, окружающей источник излучения, конусом с вершиной в центре сферы к квадрату ее радиуса R связь с плоским углом кругового конуса γ (в градусах) и телесном углом выражается формулой:

$$\Delta\Omega = 2\pi(1 - \cos\gamma) \quad (4)$$

Телесный угол измеряется в стерadianах (ср). Один стерadian равен отношению $\Delta S = 1 \text{ м}^2$ к квадрату радиуса $R = 1 \text{ м}$, т.е. $1\text{м}^2/1\text{м}^2 = 1 \text{ ср}$. Сила излучения имеет единицу измерения Вт/ср и определяется формулой:

$$I_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\Omega} \quad (5)$$

Распределение силы излучения в пространстве для источников, имеющих оси симметрии, изображается обычно либо с помощью фотометрического тела, ограничивающего часть пространства поверхностью, являющейся

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

геометрическим местом точек концов сил излучения по различным направлениям в пространстве, либо в полярных координатах на двух взаимно перпендикулярных плоскостях – продольной и поперечной.

Рассмотрим это на примере двух источников излучения, имеющих форму шара и цилиндра, размеры которых при дальнейших рассуждениях сводятся в точку. Такие источники излучения называют точечными.

Для точечного шарового источника с потоком излучения Φ_e фотометрическое тело имеет форму шара и силы излучения в любом выбранном направлении будут иметь одинаковые значения. Распределение силы излучения в продольной и поперечной плоскостях совпадают и имеют форму окружности, в центре которой расположен источник (рисунок 2).

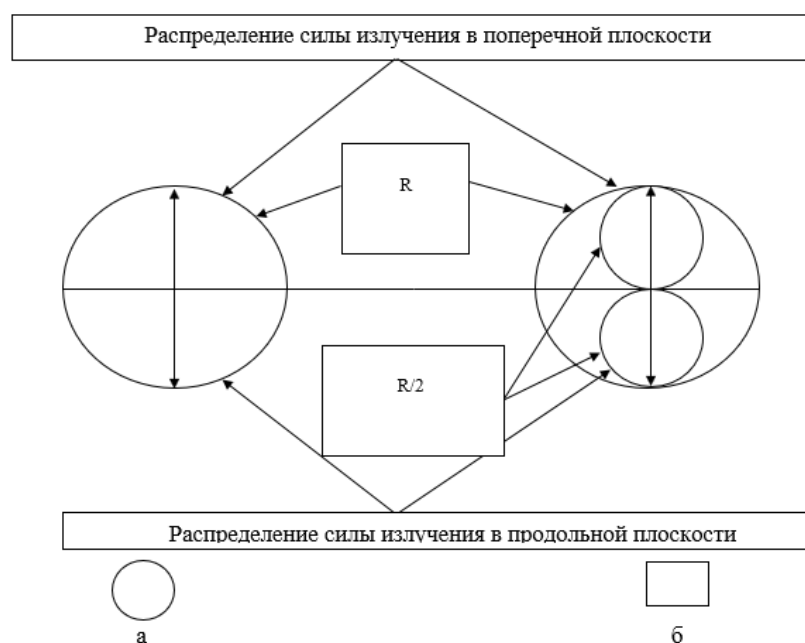


Рисунок 1 – Распределение силы излучения для шарового (а) и цилиндрического (б) источника излучения в поперечной и продольной плоскостях

Поверхностная плотность потока излучения или облученность в любой точке поверхности шара имеет размерность Вт/м² и определяется как:

$$E_e = \frac{\Phi_e}{S_{\text{ш}}} = \frac{\Phi_e}{4\pi R^2} \quad (6)$$

Если учесть выражение (6), то получим формулу:

$$E_e = \frac{I_e}{R^2} \quad (7)$$

Данная формула отражает один из фундаментальных законов физики – закон квадратов расстояний, согласно которому облученность в точке обратно пропорциональна квадрату расстояний до этой точки от источника и прямо пропорциональна силе излучения в данном направлении.

Следует заметить, что этот закон справедлив при условии, когда размеры источника излучения составляют не более десятой части расстояния от него до точки измерения облученности.

Для цилиндрического источника излучения с потоком Φ_e и с темными торцовыми концами фотометрического тела представляет собой тор – поверхность, образованную вращением окружности вокруг оси, лежащей в плоскости этой окружности. При этом распределение силы излучения в поперечной плоскости изображается в окружности с радиусом R , в центре которой расположен источник, а в продольной плоскости изображается двумя окружностями с радиусами $R/2$, касающимися друг друга в точке, являющейся центром окружности, лежащей в поперечной плоскости (рисунок 1).

В этом случае телесный угол тора, в границах которого распространяется поток излучения, равен [14]:

$$\Omega = \frac{S_T}{R^2} = \frac{\pi^2 R^2}{R^2} = \pi^2 \quad (8)$$

где S_T – площадь поверхности тора, м².

					БР–02069964–27.03.01–02–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Тогда сила излучения в радиальном направлении, которое перпендикулярно цилиндрическому источнику имеет размерность Вт/ср и равна:

$$L_{e.o} = \frac{\Phi_e}{\Omega} = \frac{\Omega}{\pi^2} \quad (9)$$

На рисунке 1 видно, что распределение силы излучения для цилиндрического источника излучения в поперечной плоскости не зависит от направления, а в продольной зависит и определяется формулой:

$$L_{e.o} = L_{e.o=0} \cos \alpha = \frac{\Phi_e}{\pi^2} \cos \alpha \quad (10)$$

Распространение излучения в пространстве связано с переносом энергии от источника к другому материальному телу, встречающемуся на его пути. Энергия излучения W_e равна произведению потока излучения Φ_e (Вт) на время действия t (с), т.е.:

$$W_e = \Phi_e t \quad (11)$$

Величина, характеризующая плотность энергии подающего излучения на поверхность площадью S , m^2 , называется поверхностной энергетической экспозицией и определяется соотношением:

$$H_{e.s} = \frac{W_e}{S} = \frac{\Phi_e t}{S} = E_e t \quad (12)$$

Если энергия излучения заполняет объем V , m^3 , то используется величина «объемная энергетическая экспозиция», характеризующая объемную плотность энергии. Объемная энергетическая экспозиция определяется соотношением:

$$H_{e.v} = \frac{W_e}{V} = \frac{\Phi_e t}{V} \quad (13)$$

Эти величины применяются при оценке действия падающего излучения на облучаемые объекты.

подавляющее большинство искусственных источников излучения основано на преобразовании электрической энергии в энергию излучения. Оценка эффективности преобразования затраченной электрической энергии в энергию излучения в заданном спектральном диапазоне длин волн $\lambda_l - \lambda_n$ определяется значением так называемого энергетического КПД (коэффициента полезного действия) с учетом формулы (1), вычисляемого с помощью выражения:

$$V_{\text{э}} = \frac{\Delta\lambda \sum_{i=1}^n \Phi_{e,\lambda,i}}{P_{\text{и}}} = \Phi_{e,(\lambda_l-\lambda_n)} P_{\text{и}} < 1 \quad (14)$$

где $P_{\text{и}}$ – электрическая мощность источника излучения, Вт.

Энергетический КПД источника ν является безразмерной величиной, так как поток излучения и электрическая мощность источника измеряются в ваттах.

Оценка вклада отдельных спектральных линий в суммарное излучение иногда осуществляется с помощью спектрального КПД плотности потока $\nu_{\lambda,\phi}$ или силы излучения $\nu_{\lambda,I}$:

$$V_{\lambda,\phi} = \frac{\Phi_{e,\lambda}}{P_{\text{и}}} \quad (15)$$

$$V_{\lambda,I} = \frac{\Delta\Phi_{e,\lambda}}{\Delta\Omega P_{\text{и}}} = \frac{I_{e,\lambda}}{P_{\text{и}}} \quad (16)$$

При падении потока излучения на какое-либо тело в зависимости от оптических характеристик тела в наиболее общем случае часть потока излучения

$\Phi_{e,r0}$, другая часть поглощается $\Phi_{e,\alpha}$, и оставшаяся часть $\Phi_{e,\tau}$ пропускается. В соответствии с этим отношении этих потоков к падающему потоку Φ_e называются коэффициентом отражения r_0 , коэффициентом поглощения α , коэффициентом пропускания τ [22].

Согласно закону сохранения энергии:

$$\Phi_e = \Phi_{e,r0} + \Phi_{e,\alpha} + \Phi_{e,\tau} \quad (17)$$

Разделив члены этого соотношения на Φ_e , получим:

$$r_0 + \alpha + \tau = 1 \quad (18)$$

Т.е. сумма коэффициентов отражения, поглощения и пропускания для данного тела всегда равна единице.

Эти выражения определяют только количественные соотношения между отражением, поглощением и прошедшим потоком. Характер распределения этих потоков в пространстве зависит от состояния поверхности и внутренней структуры тела.

Рассмотрим случаи, когда тело обладает нейтральными оптическими характеристиками, которые не влияют на спектральный состав излучения. Для тел, обладающих зеркальной поверхностью, направление распространения потока излучения подчиняется правилу: углы падения и отражения потоков излучения равны, при этом телесные углы, внутри которых распространяются падающий и отраженный потоки, остаются неизменными. Тогда можно написать:

$$\frac{\Delta\Phi_{e,r0}}{\Delta\Omega} = \frac{\Delta\Phi_{e,r0}}{\Delta\Omega} \quad (19)$$

или для сил излучения:

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

$$L_{e.r0} = L_e + r_0 \quad (20)$$

При расчете облученности по формуле (8) на поверхности, расположенной под углом α к направлению распространения отраженного излучения, необходимо учесть, что расстояние от источника до отражения поверхности I_1 и от отражающей поверхности до рассматриваемой точки I_2 :

$$E_{e.\alpha} = \frac{L_{e.r0} \cos \alpha}{(I_1 + I_2)^2} \quad (21)$$

Для тел с шероховатой поверхностью отраженное излучение получается рассеянным или диффузным. При одинаковой обработке шероховатый поверхности отраженное излучение будет распространяться в пространстве по всем направлениям равномерно. Фотометрическое тело такой рассеивающей поверхности ΔS (м²) принимает форму шара, касательного в точке падения излучения. Следовательно, распределение в любой плоскости сечения шара будет определяться окружностью (рисунок 1). В этом случае отраженная сила излучения $I_{r0,\gamma}$ под углом λ подчиняется закону косинуса:

$$L_{e.r0.\lambda} = \frac{\Phi_{e.r0} \cos \lambda}{\pi} \quad (22)$$

Встречаются материалы, обладающие одновременно свойствами как зеркального, так и диффузного отражения. Такое отражение, фотометрическое тело которого представляет собой эллипсоид вращения, называется смешанным. Степень рассеянности отраженного потока излучения иногда в продольной плоскости распределения силы излучения.

При прохождении потока излучения через объект оно либо частично, либо полностью поглощается в зависимости от его оптических свойств.

Для объектов, обладающих неизбирательным, т.е. не влияющим на спектральный состав излучения, поглощением (неселективным), была найдена экспериментальная, а затем подтвержденная теоретически, зависимость между значениями падающего Φ_e и прошедшего Φ_τ потоков излучения для плоского объекта толщиной x (м), выражающая в математической форме закона Бугера-Ламберта:

$$\Phi_{e,\tau} = \Phi_e \exp(-kx) \quad (23)$$

где k – показатель ослабления, m^{-1} , откуда:

$$\tau = \frac{\Phi_{e,\tau}}{\Phi_e} = \exp(-kx) \quad (24)$$

Значение k для данного вида объекта определяется экспериментально и зависит только от поглощательной способности объекта: чем больше прозрачность объекта, тем меньше значение k . При $k=0$ объект обладает максимальной прозрачностью, т.к. коэффициент пропускания такого объекта равен единице, так как $\exp(0)=1$.

Если объект обладает свойствами влиять на спектральный состав прошедшего потока излучения, т.е. избирательными (селективными) свойствами, то в этом случае определяется значение спектрального коэффициента поглощения $k(\lambda)$ и соответственно спектральному коэффициенту пропускания $\tau(\lambda)$ для узкого интервала длин волн излучения. Значение для поглощенного потока излучения можно определить из уравнения:

$$\Phi_{e,\alpha} = \Phi_e - \Phi_{e,\tau} = \Phi_e - \Phi_e \exp(-kx) = \Phi_e((1 - \exp(-kx))) \quad (25)$$

Тела, в которых происходит преобразование энергии излучения в другие

виды энергии, например в тепловую, химическую или электрическую, принято называть приемниками.

При исследовании воздействия излучения на различные приемники было обнаружено, что подавляющее число приемников, особенно биологических, обладает избирательностью или селективностью к различным длинам волн. Селективность приемника излучения означает, что при одинаковых значениях поглощенных потоков излучения с различным спектральным составом они вызывают неодинаковую степень реакции приемника.

Следовательно, при оценке эффективности взаимодействия излучения с селективным приемником использования энергетических величин может привести к значительным ошибкам. Эффективные величины позволяют выявить оптимальные параметры излучения и оценить степень взаимодействия излучения и селективного приемника. Это базируется на том, что не вся поглощенная энергия излучения может вызвать тот или иной эффект: значительная часть ее преобразуется в тепло. Доля полезной поглощенной энергии определяется спектральной чувствительностью приемника.

Как правило, чувствительность приемника изображают на графике в виде кривой, представляющей собой функциональную зависимость относительной спектральной чувствительности S_λ , откладываемой по оси ординат, от длины волны излучения λ , откладываемой по оси абсцисс. Обычно длина волны λ_{\max} соответствует максимальной спектральной чувствительности приемника $S_{\lambda, \max}$.

Наличие экспериментальной кривой спектральной чувствительности приемника позволяет определить эффективность действия излучения как отдельных спектральных линий, так и их суммарное действие. Так, если известна спектральная плотность любой радиометрической величины в энергетических единицах, например потока $\Phi_{e, \lambda}$, то для эффективного значения спектральной плотности потока излучения $\Phi_{\text{эф}, \lambda}$ можно написать:

					БР–02069964–27.03.01–02–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$$\Phi_{\text{эф.}\lambda} = \Phi_{\text{у.}\lambda} S_{\lambda} \quad (26)$$

А для сложного излучения в диапазоне длин волн $\lambda_1 - \lambda_n$, состоящего из отдельных спектральных линий или сплошного спектра, разбитого на узкие интервалы длин волн $\Delta\lambda$ (нм), эффективный поток излучения определяется выражением:

$$\Phi_{\text{эф}(\lambda_1 - \lambda_n)} = \Delta\lambda \Phi_{\text{эф.}\lambda i} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^n \Phi_{\text{е.}\lambda, i} S_{\lambda} \quad (27)$$

Формулы (26) и (27) справедливы для приемников, обладающих линейной зависимостью уровня реакции от значения падающего потока излучения независимо от его спектрального состава, если выполняется условие аддитивности, т.е. сумма уровней реакции приемника от двух или более отдельных спектральных потоков равна уровню реакции от их суммарного воздействия. В этом случае возможно построение системы эффективных радиометрических величин [10].

В настоящее время в Международную систему единиц включены только единицы световых(фотометрических) величин, для которых глаз человека рассматривается условно в качестве линейного спектрального аддитивного приемника излучения. Для других биологических приемников построение системы эффективны величин наталкиваются на ряд трудностей, связанных с их нелинейностью и неаддитивностью.

Для некоторых конкретных биологических приемников, у которых отклонения от нелинейности и аддитивности не столь значительны и ими можно фактически пренебречь, предлагается ряд систем эффективных величин, имеющих для практических целей определенную ценность, так как они позволяют выявить в некоторых случаях максимальную полезность того или иного спектрального состава излучения. К такому виду биологических приемников можно отнести и микроорганизмы.

Это согласуется с теорией А. Я. Хинчина, относящейся к теории больших чисел. В одно из следствий этой теоремы (нелинейность-аддитивность) утверждается, что с увеличением множества элементов системы, в том числе и клеток, она упрощается. В это случае, хотя элементы системы нелинейны, в целом систему можно рассматривать как линейную и аддитивную [21].

1.3 Виды и основные характеристики источников ультрафиолетового излучения

Источники ультрафиолета делятся на:

- природные источники. Основной источник ультрафиолетового излучения на Земле-Солнце. Соотношение интенсивности излучения А и Б, общее количество ультрафиолетовых лучей, достигающих поверхности Земли, зависит от следующих факторов:

- а) от концентрации атмосферного озона над земной поверхностью;
- б) от высоты Солнца над горизонтом;
- в) от атмосферного рассеивания;
- г) от состояния облачного покрова;
- д) от степени отражения УФ-лучей от поверхности (воды, почвы).

- лазерные источники. Существует ряд лазеров, работающих в ультрафиолетовой области. Лазер позволяет получать когерентное излучение высокой интенсивности. Однако область ультрафиолета сложна для лазерной генерации, поэтому здесь не существует столь же мощных источников, как в видимом и инфракрасном диапазонах. Ультрафиолетовые лазеры находят своё применение в масс-спектрометрии, лазерной микродиссекции, биотехнологиях и других научных исследованиях.

В качестве активной среды в ультрафиолетовых лазерах могут использоваться либо газы (например, аргоновый лазер, азотный лазер, эксимерный лазер и др.), конденсированные инертные газы, специальные кристаллы, органические сцинтилляторы, либо свободные электроны, распространяющиеся в ондуляторе.

Искусственные источники. Благодаря созданию и совершенствованию искусственных источников УФ излучения, шедшими параллельно с развитием электрических источников видимого света, сегодня специалистам, работающим с УФ излучением в медицине, профилактических, санитарных и гигиенических учреждениях, сельском хозяйстве и т. д., предоставляются существенно большие возможности, чем при использовании естественного УФ излучения. Разработкой и производством УФ ламп для установок фотобиологического действия (УФБД) в настоящее время занимаются ряд крупнейших электроламповых фирм и др. Номенклатура УФ ламп для УФБД весьма широка и разнообразна: так, например, у ведущего в мире производителя фирмы Philips она насчитывает более 80 типов. В отличие от осветительных, УФ источники излучения, как правило, имеют селективный спектр, рассчитанный на достижение максимально возможного эффекта для определенного ФБ процесса [8].

Лампы бактерицидные ДБ, ДБК, ДРБ предназначены для обеззараживания, стерилизации, дезинфекции воздуха, воды, поверхностей в помещениях ультрафиолетовым бактерицидным излучением. Область применения: уничтожение или дезактивация бактерий, микробов и других микроорганизмов, дезинфекция воздуха, воды и поверхностей в больницах, детских садах, НИИ бактериологии, фармацевтических предприятиях и предприятиях пищевой промышленности, молокозаводы, упаковочные линии, маслобойни, сыроварни, пивоварни, хлебопекарни, мясоперерабатывающие цеха, овощехранилища, помещения организаций продовольственной торговли, общественного питания, стерилизация упаковочных материалов, медицинского и парикмахерского инструмента.

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Дезинфекция, питьевой и отработанной воды, воды плавательных бассейнов и сточных вод. Стерилизация воздуха систем кондиционирования и вентиляции, складских помещений, холодильных камер хранения продуктов питания, лечебных учреждений, театров, кино, школ, детских учреждений, залов судебных заседаний. Бактерицидные лампы используются в целом ряде фотохимических процессов, стирании микросхем, стирание информации с современных микроэлектронных блоков памяти (ППЗУ) и др. Основные технические характеристики бактерицидных ламп типа ДБ, ДБК, ДКБ, ДКБУ, ДБР представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Основные технические характеристики бактерицидных ламп типа ДБ, ДБК, ДКБ, ДКБУ, ДБР

Тип ламп	Напряжение на лампе, В	Мощность, Вт	Лучистый поток, Вт	Продолж. горения, ч	Габаритные размеры, мм		Тип цоколя	Рис.
					L	D		
Лампы ртутные бактерицидные (колба из кварцевого стекла)								
ДБК 4	29±0,5	4	0,6	2000	150,1	16,5	G5d	2
ДБК 6	42±0,6	6	1,8	3000	226,3	16,5	G5d	2
ДБК 8	58±0,8	8	3,1	3000	302,5	16,5	G5d	2
ДБК 18	60±6,0	18	6,5	4000	480,0	16,5	G5d	2
ДБК 30	104±10,5	30	10,0	8000	908,8	22,5	G13d	2
ДБК 36	122±12,6	36	11,0	8000	860,0	16,5	G5d	2
ДБК 60	100±5,4	60	18,0	8000	908,8	22,5	G13d	2
ДБК 75	108±10,8	75	26,0	8000	1213,6	22,5	G13d	2
ДБК 100	100±10,0	100	32,0	8000	1213,6	22,5	G13d	2
Лампы ртутные бактерицидные (колба из увиолевого стекла)								
ДБ 4 М	29±0,5	4	0,7	5000	135,9	16,0	G5d	2
ДБ 6 М	42±0,6	6	1,5	5000	212,1	16,0	G5d	2
ДБ 8 М	56±0,8	8	2,1	5000	302,4	16,0	G5d	2
ДБ 15 М	54±1,25	15	4,0	8000	451,6	26,0	G13d	2
ДБ 30 М	104±10,5	30	10,0	8000	908,8	26,0	G13d	2

Окончание т а б л и ц ы 1

ДБ 36 М	103±10,0	36	12,5	8000	1213,6	26,0	G13d	2
ДБ 60 М	100±5,4	60	18,0	8000	908,8	26,0	G13d	2
ДБ 75М	100±10,0	75	26,0	8000	1213,6	26,0	G13d	2
ДБ 75-2	100±10,0	75	26,0	12000	1213,6	26,0	G13d	2
Лампы ртутные бактерицидные компактные (колба из увиолевого стекла)								
ДКБ 5	34±4	5	1,0	6000	105	28/13	G23	4
ДКБУ 5	34±4	5	1,0	6000	92	28/13	2G7	3
ДКБ 7	45±7	7	1,5	6000	135	28/13	G23	4
ДКБУ 7	45±7	7	1,5	6000	123	28/13	2G7	3
ДКБ 9	60±6	9	2,4	6000	167	28/13	G23	4
ДКБУ 9	60±6	9	2,4	6000	155	28/13	2G7	3
ДКБ11	90±9	11	3,6	6000	235	28/13	G23	4
ДКБУ1 1	90±9	11	3,6	6000	223	28/13	2G7	3

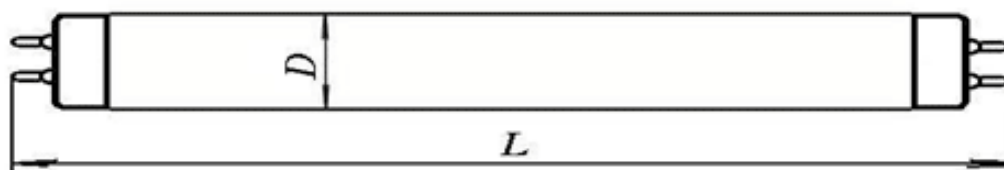


Рисунок 2 – Внешний вид бактерицидной лампы типа ДБК и ДБ

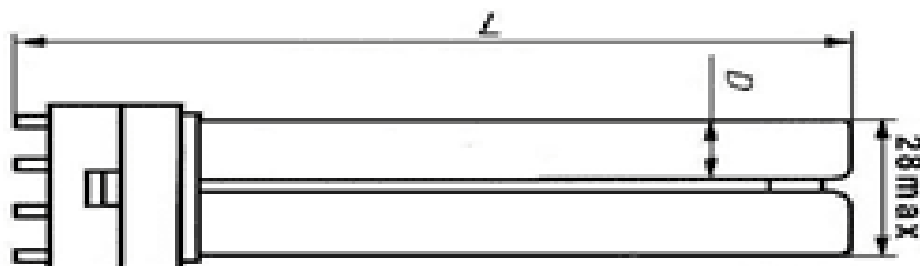


Рисунок 3 – Внешний вид бактерицидной лампы типа ДКБУ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-02069964-27.03.01-02-20

Лист

27

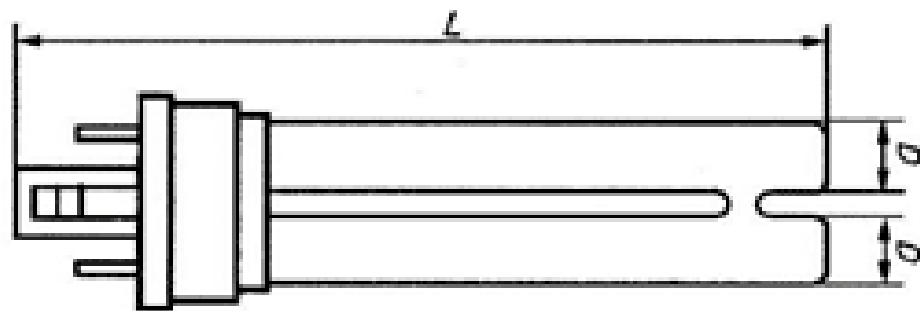


Рисунок 4 – Внешний вид бактерицидной лампы типа ДКБ

1.3.1 Лампы ртутные бактерицидные ДБ 30 и ДБ 60

Ярким примером бактерицидных ламп типа ДБ являются лампы ДБ 30 и ДБ 60. Они предназначены для обеззараживания воздуха помещений лечебных учреждений, бактериологических лабораторий, станций переливания крови, театров и кино, школ, детских учреждений, некоторых цехов промышленных предприятий; для обеззараживания поверхности ограждений в помещениях, а также предметов обихода; для обеззараживания питьевой и минеральной воды; для предохранения от микробного загрязнения пищевых продуктов, оборудования и тары пищевых предприятий.

Представляет собой газоразрядную лампу низкого давления с самокалящимися катодами. Оболочкой лампы является герметически запаянная стеклянная трубка из увиолевого стекла, хорошо пропускающего излучение с длиной волны 253,7 нм. Электрический разряд в смеси паров ртути с аргоном служит источником излучения, большая часть которого приходится на линию с длиной волны 253,7 нм, соответствующую области наибольшего бактерицидного действия. Лампы включаются в электрическую сеть переменного тока напряжением 127 и 220 вольт частотой 50 Гц через специальные приборы включения.

Нормальное положение ламп при эксплуатации – горизонтальное. Однако в случае необходимости допускается эксплуатация ламп в любом положении. Наивыгоднейшая для бактерицидных ламп температура окружающего воздуха

от +18 °С до +25 °С, при повышении или понижении которой бактерицидный поток ламп снижается. При температуре +5 °С и ниже лампы могут не зажигаться. При повышении относительной влажности в помещении свыше 70 % бактерицидное действие ультрафиолетового излучения несколько снижается [12].

Обеззараживание воздуха помещений ультрафиолетовым излучением может производиться как в присутствии, так и в отсутствии людей.

При обеззараживании воздуха в присутствии людей должны быть приняты меры к максимальному сокращению бактерицидной облученности на уровне до 2 м от пола. Применение незранированных (голых) ламп, которые могут оказаться в поле зрения, категорически запрещается. Обеззараживание воздуха в присутствии людей в высоких помещениях (более 3 м) можно производить, размещая бактерицидные лампы в специальной арматуре, на высоте не ниже 2 м от пола. Арматура должна направлять бактерицидный поток в верхнюю зону так, чтобы никаких лучей как непосредственно от лампы, так и отраженных от частей арматуры, не направлялось под углом, меньшим 5° горизонтальной плоскости, проходящей через лампу. Отражатель, направляющий световой поток, рекомендуется рассчитывать так, чтобы направлять световой поток лампы в пределах угла от 5° до 80° над горизонтальной плоскостью. При круглосуточном горении ламп максимальная облученность в зоне пребывания людей не должна превышать 1 Вт/м².

Облучение воздуха в помещениях с большим скоплением людей рекомендуется производить в течение всего времени их пребывания (приемные в поликлиниках, групповые комнаты в детских учреждениях, залы ожидания в вокзалах и т. п.). При отсутствии достаточной вентиляции после 1,5 часов непрерывного горения лампы в воздухе может ощущаться характерный запах озона. В этих случаях каждые 2 часа непрерывного горения рекомендуется на 40 минут выключить лампы и проветрить помещение.

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Обеззараживание воздуха помещений ультрафиолетовым излучением в присутствии людей возможно также производить, применяя бактерицидные лампы в местных и общих рециркуляционных установках. Местная установка представляет собой короткую металлическую трубку со скрытыми в ней бактерицидными лампами, через которую вентилятор с малогабаритным электромотором прогоняет воздух. При наличии общих рециркуляционных воздушных установок бактерицидные лампы устанавливаются в воздуховодах этих установок.

Возможно также производить обеззараживание подаваемого в помещение или выбрасываемого из помещения воздуха, устанавливая бактерицидные лампы в каналах приточно-вытяжной вентиляции. Для обеззараживания поступающего воздуха бактерицидные лампы устанавливают в приточных каналах. Экранированные лампы и местные рециркуляционные установки рекомендуется размещать по ходу основных конвекционных воздушных потоков в помещениях.

Применение бактерицидных ламп для обеззараживания воздуха при отсутствии людей может осуществляться различными способами: в перерывах между работой, ночью или в специально отведенное время. Неэкранированные лампы (при отсутствии людей) устанавливают из расчета не менее 2,5 Вт потребляемой из сети мощности на 1 м³ помещения. При кратковременном использовании установленная мощность может быть повышена в несколько раз в зависимости от заданного времени эксплуатации установки.

Для специального облучения поверхности ограждений можно применять переносную облучательную установку. При использовании переносной облучательной установки ее необходимо максимально приблизить к поверхности ограждений и производить облучение не менее 3 минут.

Для облучения предметов обихода (игрушек, посуды и т. п.) можно рекомендовать специальные шкафы с установленными в них бактерицидными лампами над решетчатыми полками с тем, чтобы указанные предметы облучались

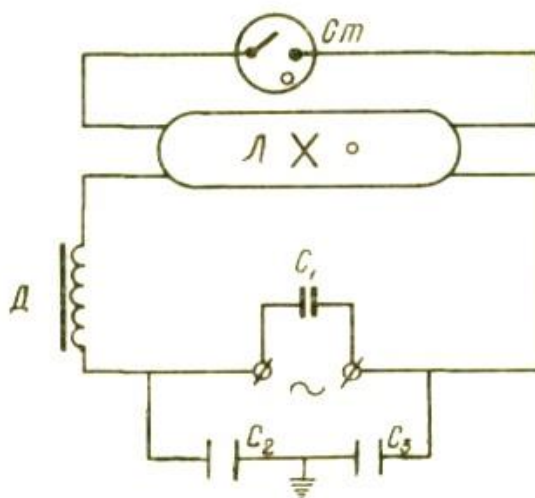
					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

там со всех сторон не менее 10 мин. Игрушки и посуду до облучения надо хорошо промыть.

При обеззараживании питьевой и минеральной воды расчетный бактерицидный поток ламп (F_e) для обеззараживания воды принимается равным среднему лучистому потоку этих ламп, на протяжении всего срока службы, т.е. на 30 % ниже номинального.

Для обеззараживания воды возможно размещение бактерицидных ламп в воздухе над свободной поверхностью облучаемой воды и погружением их в воду. В зависимости от способа размещения бактерицидных ламп установки для обеззараживания воды разделяют на два основных типа: с непогруженными и погруженными источниками.

При обеззараживании воздуха в холодильных камерах и складских помещениях потребляемая из сети мощность на 1 м³ помещения должна быть не менее 0,6 Вт при облучении не менее 9 часов [16].



Л - лампа; Ст - стартер; Д - дроссель; Су - конденсатор, служащий для повышения коэффициента мощности установки.

Рисунок 5 – Схема включения ламп ртутных бактерицидных ДБ 30 и ДБ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

1.3.2 Лампа разрядная высокого давления трубчатая бактерицидная типа ДРТВ 2000

Лампа разрядная высокого давления трубчатая бактерицидная типа ДРТВ 2000 предназначена для обеззараживания природных и сточных вод и рассчитанную на работу в сети переменного тока частоты 50 Гц напряжением 380 В с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой. Характеристики лампы разрядной высокого давления трубчатой бактерицидной типа ДРТВ 2000 представлены в таблицы 2 [19].

Т а б л и ц а 2 – Характеристики лампы разрядной высокого давления трубчатой бактерицидной типа ДРТВ 2000

Мощность, Вт	Номин.	2000
	Предел. откл.	+200
Напряжение на лампе, В	Номин.	230
	Предел. откл.	±30
Сила электрического тока, А	Рабочий	9,2
	Не более	15,5
Бактерицидный поток, Бакт	Номин.	90
	Не менее	85

1.3.3 Лампы ртутные низкого давления для облучателей бактерицидных медицинских

Лампы предназначены для использования в качестве источника ультрафиолетового излучения длиной волны 253,7 нм в бактерицидных облучателях для обезвреживания воздуха в помещениях лечебно-профилактических учреждений. Лампы должны применяться в сети переменного тока частоты 50 Гр с номинальным напряжением (220 ± 22) В в стартерных схемах включения с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой. Характеристики ламп ртутных низкого давления для облучателей бактерицидных медицинских представлены в таблицы 3 [11].

Т а б л и ц а 3 – Характеристики ламп ртутных низкого давления для облучателей бактерицидных медицинских

Тип лампы		ДБМ 15	ДБМ 30
Код ОКП		94 4435 0016 05	94 4435 0017 04
Напряжение сети, В		220	
Мощность, Вт	Номин.	15	30
	Пред.откл.	+1,25	+2,00
Напряжение на лампе, В	Номин.	54	104
	Пред.откл.	±5,4	±10,5
Сила электрического тока, А		0,33	0,36
Лучистый поток ($\lambda=253,7$ нм), Вт	Номин.	3,8	9,0
	Не менее	3,3	8,0

2 Методы и средства измерения фотометрических параметров источников ультрафиолетового излучения

В настоящее время принято условно разделять ультрафиолетовую область спектра на 3 части: область А от 415 до 400 нм, являющиеся мало биологически активной, область В от 280 до 315 нм, которое оказывает лечашие действие и область С от 200 до 280 нм, оказывающая разрушающее действие на живые клетки. Кроме того, биологическое действие ультрафиолета на человека может быть охарактеризована спектральными кривыми. Наиболее изученными из них являются кривые бактерицидного и эритемного действия. Однако, последними работами профессора Франка, Варшавера и другими, было показано, что существует глубокое качественное различие реакций биологического приемников на одно и тоже действие ультрафиолетовых лучей и различных длин волн [26].

Таким образом, при измерении источников ультрафиолетового излучения в различных частях спектра имеются две возможности:

- измерение излучения в определённой области А, В и С;
- оценка соответствующего биологического действия ультрафиолета данного источника.

Существует большее количество методов и приборов, применяемых для измерения ультрафиолетового излучения. Независимо от принципа их действия все приборы имеют устройства для выделения нужной области ультрафиолета, приёмник излучения, измерительных приборов.

Аналогично измерениям в других частях спектра, методы измерения ультрафиолетовой радиации могут быть разделены на спектральные и интегральные. В первом случае производят выделения отдельных участков спектра с помощью спектрального разложения в спектрографах или монохроматорах, а также монохроматическими фильтрами с последующим измерением интенсивно монохроматического излучения объективным или субъективным методом.

Во втором случае применяется приемники с селективной чувствительностью в интересующей нас области спектра или выделяются отдельные части спектра с помощью светофильтров, а также измеряют излучения с селективным или не селективным приемником.

Спектральные методы измерений позволяют получить точные и исчерпывающие данные об ультрафиолетовом излучении, однако в виду сложности и дороговизны аппаратуры и длительности измерений, они доступны лишь оборудованным лабораториям. Между тем, для целей производственных измерений излучения источников ультрафиолета, для контроля постоянство облучение в медицине и технике, для ультрафиолетовой дозиметрии и т. п., необходимы приборы, позволяющие быстро и просто оценивать интенсивность излучения. К используемым для этой цели прибора интегрального типа могут быть подразделены на:

- приборы, измеряющие энергию излучения в определенных ограниченных участках ультрафиолетового спектра;
- приборы, оценивающие ультрафиолетовое излучение пропорционально его действию на те или иные биологические объекты.

В качестве приемника излучения в приборах первого типа целесообразно использовать неселективные приемники типа термоэлементов. Однако, при этом для выделения нужных областей спектра приходится использовать абсорбционные фильтры с крупными коротковолновыми границами и применять разностный метод измерения.

При расчёте излучаемой энергии должен быть учтен ряд поправок, часть которых необходимо определить экспериментально. Кроме того, термоэлемент, применяемый для измерений, должен иметь градуировку в абсолютных энергетических единицах. Если к этому добавить трудности, связанные с малой абсолютной чувствительностью и сильным влиянием постороннего излучения и температуры внешней среды на результаты измерений, то следует признать термоэлектрический метод непригодным для практических целей.

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Приборы второго типа основан на использовании фотоэлементов с селективной чувствительностью, в частности, вакуумным фотоэлементов с катодами из чистых металлов или сплавов, при условии изготовления их колб из материала прозрачного для ультрафиолета.

Приборы такого типа описаны, например, Кобленцем, который использовал кадмиевый фотоэлемент для измерения ультрафиолетового излучения в гелиотерапии и Ховнеров и Андрусом, применившими фотоэлементы с титановым и танталом катодом для измерения коротковолнового ультрафиолетового.

Однако, и этот метод измерений не может найти широкого практического применения, в связи с трудностями получения фотоэлементов с требуемой кривой спектральной чувствительности, а также из-за плохой воспроизводитель характеристик и технологических трудностей при изготовлении фотоэлементов.

Измерение ультрафиолетового излучения возможно также производить, используя трансформацию его в видимое с помощью люминофоров, что позволяет применить обычные методы визуальной фотометрии. Однако, недостатки люминесцентных методов измерений, заключается в плохой воспроизводимости люминофоров, малой их стабильности, значительным температурном коэффициенте, а также сложность получения нужной спектральной чувствительности, сильно затрудняют применение этих методов широкой практике.

Значительно большие возможности для выделения различных областей ультрафиолета, а также для получения стабильного и легко воспроизводимого приёмного устройства представляет метод комбинации светофильтров и фотоэлементов. В литературе описаны приборы Росслера и Крафта, использовавших селеновый фотоэлемент с набором светофильтров для измерения отдельных областей ультрафиолета. Из отечественных приборов следует отметить бектметр Лазарева, в котором применена комбинация селенового фотоэлемента и люминофора $ZnBeSiO_3$ для выделения бактерицидной области ультрафиолета. Однако необходимость использования высокочувствительного измерительного прибора мультифлекс-гальванометра разностный метод измерения и

зависимости результатов от угла падения излучения на фотоэлемент, является существенными недостатками бактметра.

Кроме того, проверка спектральной чувствительности прибора, проведённые в испытательной лаборатории, показал заметное отличие её от спектральной кривой бактерицидного действия ультрафиолета. Способ сочетания светофильтров с селективным приемником излучения использовался в других организациях было выпущено несколько опытных образцов приборов для измерения интегрального ультрафиолетового излучения ламп типа ПРК в биологически активные области ультрафиолета $\lambda = 240 - 360$ мкм.

А по мимо этого, были выпущены опытные образцы портативного Ультрафиолетметра, в котором использованы вакуумные фотоэлементы с сурьмяно-цезием и магнием катодом с набором светофильтров. Магниевый фотоэлемент обеспечивая измерения излучения в области длин волн $\lambda = 250 - 320$ мкм, а сурьмяно-цезиевый с двумя комбинациями фильтров в области $\lambda = 270 - 340$ мкм и $\lambda = 340 - 400$ мкм.

Прибором, использующим комбинацию светофильтров и фотоэлементов, были свойственны следующие недостатки:

- к недостаточной чувствительность, я что затрудняло измерения излучения малой интенсивности;
- малая точность результатов измерений, обусловленные неправильный интеграции излучения в пространстве при различных углах падения его на приёмник, причём, применение интегрирующего устройство затруднялось малой чувствительностью прибора;
- необходимость частой проверки градуировки из-за возможной нестабильности применяемых опытных образцов фотоэлементов, технология изготовления, которых недостаточно хорошо разработана [2].

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

2.1 Выбор рационального метода измерений излучения источников ультрафиолета при их изготовлении в эксплуатацию

2.1.1 Требования предъявляемые к прибору

Приборы для измерения ультрафиолетового излучения источников при их изготовлении и эксплуатации должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- измерительная часть прибора должна непосредственно давать абсолютное значение энергии излучения различных источников в определенных областях ультрафиолетового спектра;
- в приборе должна быть обеспечена правильно интеграция излучения в пространстве, вне зависимости от угла его падения на приемник излучения;
- получение окончательных данных измерений с помощью прибора должно быть быстрым и простым;
- в приборе следует использовать детали, основные нашей промышленностью и выпускаемые серийно;
- электрическая схема прибора должна быть простой и надежной. Питание прибора должно осуществляться нестабилизированным напряжением сети переменного тока. В некоторых случаях работы прибора у потребителей, следует предусмотреть батарейное питание. В качестве выходного указывающего прибора должен использоваться дешёвый стрелочный электроизмерительный прибор;
- в приборе должна быть обеспечена хорошая воспроизводимость результатов измерений и постоянство градуировки, периодически проверяемый по эталонным лампам;
- предназначенные для заводов изготовителей, должны быть снабжены устройством для крепления, включение питания измеряемых ламп;

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

- для приборов, рассчитанных на контроль излучения источника ультрафиолета при их эксплуатации, должна быть предусмотрена возможность интегральных измерения излучения за длительный промежуток времени [26].

2.1.2 Методика измерения излучения ультрафиолетовых источников при их изготовлении

В соответствии с выше поставленными требованиями, в приборе для измерения ультрафиолетового излучения источников при их изготовлении наиболее рационально применять метод комбинации светофильтров, вырезающие в различные области ультрафиолета, с фотоэлектронным умножителем. Вместо фотоумножитель можно использовать вакуумный фотоэлемент с последующим усилением фототока. Также устройства позволяют применить в качестве выходного электроизмерительного прибора дешёвой стрелочный микроамперметр [4].

Правильная интеграция излучения источников вне зависимости от угла падения его на приёмник может быть осуществлена использованием рассеивающей среды, помещаемая перед входным отверстием света приёмника.

Для выделения необходимых областей ультрафиолета перед приемником излучения следует помещать соответствующие светофильтры, легко заменяемые в процессе измерений. При выборе светофильтров можно руководствоваться двумя положениями:

- воспроизведение спектральных характеристик отдельных биологических реакций ультрафиолета;
- выделение из ультрафиолетового излучения областей А.

Как уже было указано ранее, ультрафиолетового излучения различных длин волн оказывается совершенно различное качественное действие на физические и биологические объекты. В настоящее время нет достаточных данных, характеризующих количественную связь большинства физических или

биологических реакций с энергией излучения в различных областях ультрафиолета. В связи с этим, становится совершенно очевидно практическое непригодность первого из вышеуказанных методов подбора светофильтров.

Таким образом, в приборе применены светофильтры, подобранные по второму методу, то есть выделяющие области А, В и С.

Для измерения различных по излучаемой мощности источников необходимо предусмотреть как оптический, так и электрический способы изменения чувствительности прибора.

Отсчет измеренной величины энергии излучения должен вестись непосредственно по шкале электроизмерительного прибора. Градуировка шкалы прибора производится по эталонным лампам [27].

2.1.3 Методика измерения ультрафиолетового излучения источников при их эксплуатации

В приборах, предназначенных для контроля излучения источников ультрафиолета при их эксплуатации наиболее рационально использовать метод сочетания вакуумных фотоэлементов со светофильтрами, выделяющимися отдели области ультрафиолетового спектр. При этом, для измерения коротковолновой области ультрафиолета в качестве приемника излучения можно применить вакуумный фотоэлемент с катодом из чистого металла, магния, бериллия, надмия. Для измерения остальных области наиболее удачной оказывается комбинация сурьяно-цезиевых фотоэлементом [20].

Вследствие малой абсолютной чувствительности фотоэлементов и не целесообразности применения сложных электронных схем для усиления фототока в переносном приборе, электрическая схема ультрафиолетметра должно быть накопление зарядов на конденсаторе. Такая схема позволяет избежать применения высокочувствительных электроизмерительных приборов использовать более простые индикатор излучения в виде неоновые лампочки,

маломощных тиратронов с холодным и горячим катодом и т.п. На выходе ультрафиолетметра следует предусмотреть устройство типа счетчиков или сама записывающих аппаратов, которая обеспечила бы интеграцию излучения за длительный период времени.

Приборы должны быть снабжены также специальным рассеивателем. Этот рассеиватель позволит получать правильное показание прибора независимо от угла падения излучений на светоприёмник [9].

2.2 Методика измерений энергетических и эффективных характеристик ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей

Методика измерений, описанная в данном разделе, применяется для измерения энергетических и эффективных характеристик ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей. В качестве бактерицидных облучателей используются ксеноновые и ртутные лампы высокого и низкого давления, создающие интенсивный поток коротковолнового импульсного периодического или непрерывного УФ излучения.

Она содержит требования к погрешности измерений, средства измерений и вспомогательные устройства, требования безопасности, метод измерений энергетической освещенности (далее – ЭО) в спектральном диапазоне УФ-С (0,20 – 0,28 мкм), эффективной бактерицидной освещенности, средней ЭО импульсного излучения в спектральном диапазоне УФ-С. ЭО ртутной линии на длине волны 0,254 мкм. лежащей в области максимального бактерицидного действия УФ излучения. а также полного потока излучения.

Для измерения ЭО УФ излучения бактерицидных облучателей применяют УФ радиометры дозиметры и спектрометрические приборы непрерывного и импульсного излучения, поверенные в качестве рабочих средств измерений обеспечивающие в спектральном диапазоне УФ-С (0,20 – 0,28 мкм) измерения ЭО в

					БР–02069964–27.03.01–02–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

диапазоне 0,001 – 10 Вт/м² [1].

Границы погрешности результатов измерений энергетической освещенности ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей для непрерывного и импульсного излучения составляют 10 %.

При выполнении измерений должны использоваться следующие средства измерений и вспомогательные устройства:

- в качестве средств измерений – многоканальный радиометр «Аргус», включающий в себя радиометр УФ-С «Аргус-06» и дозиметр «Аргус-06/1» или другой УФ радиометр-дозиметр со следующими характеристиками:

- диапазон длин волн – 0,20 – 0,28 мкм;
- диапазон измерений энергетической освещенности – 0,1 – 20,0 Вт/м²;
- основная относительная погрешность – 10,0 %;

- в качестве вспомогательных устройств – светофильтры типа ЖС-16, БС-4, нейтральный кварцевый ослабитель и гониометр.

Метод измерений энергетических и эффективных характеристик УФ излучения бактерицидных облучателей основан на прямых измерениях при преобразовании потока бактерицидного излучения в электрический сигнал радиометра-дозиметра (спектрорадиометра) при выполнении условий спектральной и угловой коррекции чувствительности фотопреобразователей. Радиометр-дозиметр (спектрорадиометр) бактерицидного излучения должен быть поверен в качестве рабочего средства измерений энергетической и эффективной освещенности непрерывного и импульсного УФ излучения в соответствии с ГОСТ 8.552 и ГОСТ 8.197.

При проведении измерений энергетических и эффективных характеристик УФ излучения бактерицидных облучателей соблюдают правила электробезопасности. Измерения выполняют два оператора, аттестованных на право проведения работ по группе электробезопасности не ниже III, прошедших инструктаж на рабочем месте по безопасности труда при эксплуатации бактерицидных облучателей и ознакомленных с правилами использования средств

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

защиты персонала от УФ излучения – защитных очков, щитков, перчаток.

К измерениям энергетических и эффективных характеристик УФ излучения бактерицидных облучателей допускают лиц изучивших инструкции по эксплуатации средств измерений и вспомогательных устройств, изучивших требования настоящего стандарта, а также прошедшие инструктаж по безопасности труда при эксплуатации бактерицидных облучателей.

При проведении измерений энергетических и эффективных характеристик УФ излучения бактерицидных облучателей должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды – $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность воздуха – $(65 \pm 15) \%$;
- атмосферное давление – 84 – 104 кПа;
- напряжение питающей сети – $(220 \pm 4) \text{ В}$;
- частота питающей сети – $(50 \pm 1) \text{ Гц}$.

При подготовке к проведению измерений выполняют следующие работы:

- включают и подготавливают к работе радиометр-дозиметр (спектрорадиометр) и бактерицидные излучатели в соответствии с их инструкциями по эксплуатации;

- проверяют состояние оптики радиометра-дозиметра (спектрорадиометра). На поверхности оптических деталей не допускаются царапины, помутнения, жирные и другие пятна.

Для измерения ЭО ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей выполняют следующие операции:

- устанавливают измерительный блок радиометра-дозиметра (спектрорадиометра) на рабочей поверхности, где необходимо измерить энергетическую освещенность, при этом косинусную насадку измерительного блока радиометра-дозиметра (спектрорадиометра) ориентируют параллельно рабочей поверхности;

- определяют угловые размеры бактерицидного облучателя – горизонтальный угол φ и вертикальный угол ψ в градусах:

$$\varphi = \text{arctg} * \frac{L}{R} \quad (28)$$

$$\psi = \text{arctg} * \frac{H}{R} \quad (29)$$

где L – длина бактерицидного облучателя, мм;

H – ширина бактерицидного облучателя, мм;

R – расстояние от измерительного блока радиометра-дозиметра (спектрорадиометра) до центра бактерицидного облучателя, мм.

Включают и прогревают в течение не менее 10 минут бактерицидный облучатель.

Юстируют измерительный блок радиометра (спектрорадиометра) по углу в горизонтальной и вертикальной плоскостях для достижения максимального отсчета.

Регистрируют показания i радиометра-дозиметра (спектрорадиометра) и определяют интегральную ЭО Ei (в ваттах на квадратный метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$)) УФ излучения в спектральном диапазоне

УФ-С. Если сигналы превышают верхнее значение диапазона измерений радиометра (спектрорадиометра). необходимо установить на измерительный блок нейтральный кварцевый ослабитель.

Для оценки влияния потока инфракрасного излучения на результаты определения ЭО на измерительный блок радиометра-дозиметра устанавливают светофильтр типа ЖС-16. Показания радиометра-дозиметра не должны превышать 5 % значений.

Для исключения влияния длинноволнового ультрафиолетового излучения устанавливают на измерительный блок радиометра-дозиметра светофильтр

типа БС-4 регистрируют показания j и определяют интегральную ЭО E_j (в ваттах на квадратный метр (Вт/м²)).

По результатам измерений угловых размеров бактерицидного облучателя выбирают значения относительного коэффициента угловой коррекции $K(\phi)$ из значений, приведенных в паспорте радиометра–дозиметра.

Значение ЭО бактерицидного облучателя E_c в спектральном диапазоне УФ-С рассчитывают по формуле 3:

$$E_c = \frac{E(i - E_j) * K_{(\phi, \psi)}}{K_\tau} \quad (30)$$

где K_τ – интегральный коэффициент пропускания кварцевого нейтрального ослабителя в диапазоне УФ-С;

$K_{(\phi, \psi)}$ – относительный коэффициент угловой коррекции.

Для определения эффективной бактерицидной освещенности E_{bact}^{eff} выполняют следующие операции:

Регистрируют сигналы каналов спектро радиометра / $i(\lambda)$ и $j(\lambda)$ (в ваттах на кубический метр (Вт/м³)) аналогично определяют значение спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) $E(\lambda)$ (в ваттах на кубический метр (Вт/м³)) по формуле 4:

$$E(\lambda) = \frac{[i(\lambda) - j(\lambda)] K_{(\phi, \psi)}}{K_\tau} \quad (31)$$

где λ – длина волны, мкм.

Значение эффективной бактерицидной освещенности E_{bact}^{eff} рассчитывают интегрированием СПЭО с учетом спектральных коэффициентов относительной бактерицидной эффективности УФ излучения $K_{bact}^{eff}(\lambda)$ по формуле 5:

$$E_{bact}^{eff} = 10^{-6} * T^{-1} \int_{0,2}^{0,4} E(\lambda) K_{bact}^{eff}(\lambda) d\lambda \quad (32)$$

Среднюю ЭО импульсного излучения E_{cp} (в ваттах на квадратный метр (Вт/м²)) за период экспонирования T определяют интегрированием СПЭО по времени t по формуле 6:

$$E_{cp} = 10^6 * T^{-1} \int_{0,2}^{0,28} \int_0^T E(\lambda, t) dt d\lambda \quad (33)$$

где $E(\lambda, t)$ – СПЭО импульсного излучения.

Для определения ЭО на длине волны 0,254 мкм $E_{0,254}$ (в ваттах на квадратный метр (Вт/м²)) используют радиометр-дозиметр, имеющий на длине волны 0,254 мкм спектральное разрешение не более 10 нм. В случае если спектральное разрешение радиометра-дозиметра имеет больше 10 нм, необходимо использовать корригирующий интерференционный фильтр. Значение ЭО на длине волны 0,254 мкм рассчитывают по формуле 7:

$$E_{0,254} = \frac{(E_i - E_j) K_{(\varphi, \psi)}}{K_{\tau} * K_{\tau(0,254)}} \quad (34)$$

где $E_i - E_j$ – разность ЭО (в ваттах на квадратный метр (Вт/м²));

$K_{\tau(0,254)}$ – спектральный коэффициент пропускания интерференционного фильтра.

Энергетическую экспозицию (ЭЭ) УФ излучения определяют интегрированием СПЭО по времени воздействия t в пределах периода воздействия T и измеряют (в джоулях на квадратный метр (Дж/м²)) в соответствии с формулой 8:

$$Q = \int_{0,2}^{0,4} \int_0^T E(\lambda, t) dt d\lambda \quad (35)$$

Эффективную экспозицию (ЭфЭ) УФ излучения Q_{bact}^{eff} , определяют интегрированием СПЭО по времени воздействия t с учетом спектрального коэффициента относительной бактерицидной эффективности УФ излучения $K_{bact}^{eff}(\lambda)$ в пределах периода экспонирования T и измеряют (в джоулях на квадратный метр (Дж/м²)) в соответствии с формулой 9:

$$Q = \int_{0,2}^{0,4} \int_0^T E(\lambda, t) K_{bact}^{eff}(\lambda) dt d\lambda \quad (36)$$

Полный поток излучения бактерицидных ламп P (в ваттах (Вт)) рассчитывают по формуле 10:

$$P = \gamma E_c R^2 \quad (37)$$

где E_c – измеренное значение освещенности (в ваттах на квадратный метр (Вт/м²)) на расстоянии R , м, от бактерицидного облучателя;

γ – геометрический фактор, определяемый для бактерицидных облучателей при измерении углового распределения потока излучения с помощью гониометра.

Рассчитывают по результатам измерений относительную случайную погрешность результата измерений ЭО и ЭЭ – S_o , %, по формуле 11:

$$S_o = \frac{[\sum_{i=1}^n (E_{cp} - E_j)^2]^{1/2}}{E_{cp} [n(n-1)]^{1/2}} \quad (38)$$

где E_j – результат j -го независимого измерения;

E – среднее арифметическое измерений.

Границы погрешности результатов измерений Δ рассчитывают по формуле 12:

$$\Delta = K S_{\Sigma} = \frac{K * \theta^2}{3 + S_o^2}^{1/2} \quad (39)$$

где K – коэффициент, определяемый соотношением случайной и неисключенной систематической погрешностей:

$$K = \frac{t S_o + \theta}{(S_o + \frac{\theta^2}{3})^{1/2}} \quad (40)$$

где θ – суммарный предел допускаемой погрешности радиометра спектрометрического;

t – коэффициент Стьюдента ($t = 2,78$).

Результаты измерений оформляют по форме, принятой на предприятии, проводившем измерения.

Запись о результатах измерений должна содержать:

- дату проведения измерений;
- тип и номер средства измерений (радиометра-дозиметра или спектрометрического);
- цель проведения измерений;
- геометрические размеры бактерицидного облучателя;
- расстояние от центра бактерицидного облучателя до радиометра-дозиметра (спектрометрического);
- угловые размеры бактерицидного облучателя;
- значения сигналов I_c и J_c радиометра (спектрометрического);

- значения ЭО эффективной бактерицидной освещенности, средней ЭО импульсного излучения, полного потока излучения;
- значения неисключенной систематической погрешности, основной относительной погрешности;
- фамилию и подпись оператора [7].

2.3 Средства измерения ультрафиолетового излучения

Согласно выбранной методики, универсальный прибор для измерения излучения источников ультрафиолета при их изготовлении должен состоять из трех основных узлов:

- блока приемника излучения;
- блока питания приемника излучения;
- устройство для укрепления и питания измеряемых источников.

Блок приемника излучения включает в себя сурьмяно-цезиевый фотоумножитель с увиолевым стеклом, набор сменных светофильтров, твердых и жидких, для выделения трёх областей ультрафиолетового излучения А ($\lambda = 340 - 400$ мкм), В ($\lambda = 290 - 340$ мкм), С ($\lambda = 240 - 390$ мкм), а также мотированный кварцевый рассеиватель [17].

Блок питания вырабатывает стабилизированные высоковольтное напряжение для питания фотоумножителя, кроме того, включает в себя один каскад усиления фототока. Благодаря этому усилителю, прибор обладает высокой чувствительностью и позволяет измерить энергетическую освещенность порядка 0,5 микроватт на см² на расстоянии 1 метра.

Устройство для укрепления и питания ламп обеспечивает быструю смену измеряемых лампы подачу необходимого напряжения их питания. Однако, практическое осуществление описанного прибора потребовало проведения исследования различных приемников излучения, светофильтров электрических схем питания.

2.3.1 Выбор приемника ультрафиолетового излучения

Для измерения ультрафиолета вполне пригодны селеновые фотоэлементы, при условии изготовления их без внешнего лакового покрытия. Эти элементы удобны в эксплуатации, так как не требуют дополнительного источника питания, технологии их изготовления хорошо разработана и абсолютная чувствительность к близкому ультрафиолету достаточно велика.

Однако, селеновый фотоэлемент обладает рядом недостатков, в том числе высокой чувствительности к видимой части спектра, нелинейной зависимости фототока от интенсивности излучения при больших её величинах и больших сопротивлений в цепи фотоэлемента, а также значительным температурным коэффициентом. Кроме того, к недостаткам работы с селеновыми фотоэлементами следует отнести отсутствие надежных электронных схем усиления фототока, необходимых при измерениях источников излучения малой интенсивности.

Более удобным для измерения ультрафиолетового излучения является вакуумные фотоэлементы с внешним фотоэффектом с которыми из чистых металлов или их сплавов. Также фотоэлементы обладают резко выраженной селективностью их спектральной кривой и отсутствие чувствительности в видимой области спектра, что значительно облегчает задачу подбором светофильтров. Кроме того, ряд вакуумных фотоэлементов можно усиливать с помощью электронных схем.

Однако, для практического использования таких фотокатодов встречаются большие трудности. Во-первых, абсолютная энергетическая чувствительность этих катодов к ультрафиолету очень мала, что требуется создание сложных электронных схем усиления фототока. Во-вторых, весьма сложная технология их изготовления.

Среди вакуумных фотоэлементов выделяется своими высокими качествами фотоэлементы с сурьмяно-цезиевым катодом.

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Наиболее пригодными приемниками излучения, удовлетворяющие требованию серийности и высокой чувствительности в ультрафиолетовой части спектра является сурьмяно-цезиевые фотоэлектронные умножители. Фотоумножители обладают линейной зависимостью фототока от мощности падающего излучения, а также значительным усилением фототока. Недостатками работы с фотоумножителем следует считать необходимость весьма стабильного высокого напряжения питания, а также трудность изготовления фотоумножителей весьма малым током.

В отличие от вакуумных фотоэлементов, фототок умножителя не имеет насыщения при повышении напряжения питания фотоумножителя и существенно зависит от разности потенциалов между каскадами и существенно зависит от разности потенциалов между каскадами. Верхний предел рабочего напряжения питания фотоумножителя обуславливается величиной допустимого тока, который резко увеличивается при переходе некоторого предельного, а также возрастающим при переходе этого предела флуктуациями фототока [13].

Как известно, для получения кривых спектральной чувствительности нужно произвести измерения величины фототока, задаваемого фотоумножителем при воздействии на него монохроматического света и измерение распределение энергии излучения источника, падающего на умножитель.

Если обозначить фототок от эталонного фотоэлемента для данной длины волн через $I_{эт}$, его измеренную спектральную чувствительность при этой длине волн $\varphi_{эт}$, а для испытуемого фотоумножителя соответственно I_x и $\varphi_{ф.у.}$, то для каждой будет иметь место соотношения:

$$\varphi = \frac{\varphi_{эт}}{I_{эт}} * I_x \quad (41)$$

Для определения спектральной чувствительности фотоумножителя в

абсолютных единицах достаточно измерить фототок испытуемого умножителя или эталонную фотоэлемента для одной и той-же длины волны при одинаковых условиях. Зная абсолютное значение чувствительности эталонного фотоэлемента для данной длины волны легко найти коэффициент перехода на которой должны быть умноженные ординаты кривой относительной чувствительности фотоумножителя, полученная по соотношению. Этот коэффициент определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\Phi_{\text{эт.лабс}}}{I_{\text{эт } \lambda}} * \frac{I_{\text{ф.у.}\lambda}}{\Phi_{\text{ф.у.отн } \lambda}} \quad (42)$$

Как видно спектральная чувствительность отдельных образцов фотоумножителя отличается друг от друга не только по абсолютной величине, но и по форме кривой. Ещё более заметно эти кривые отличаются от спектральных сурмяно-цезиевых фотоэлементов. Эти отличия могут быть объяснены различием в технологии изготовления умножителей и фотоэлементов [18].

2.3.2 Выбор светофильтров для выделения различных областей ультрафиолетового спектра

Возможно три способа использования светофильтров:

- излучение источника проходит последовательно через несколько светофильтров;
- равные части приемника закрываются различными светофильтрами;
- разностный метод измерения.

В последнем случае оценка излучений производится по разности отчетов измерительного прибора при очередном использовании светофильтров. Эта схема может быть осуществлена также с непосредственным отсчетом включение двух одинаковых приемников, покрытых светофильтрами.

При измерении по способу аддитивной комбинацией необходимо, чтобы рабочая поверхность приемника обладала равномерной чувствительностью, что практически весьма трудно осуществить. Разностный метод вносит дополнительную сложность процесса измерений, нежелательно для производственного контроля. Поэтому, за основу был выбран способ субтрактивной комбинации [28].

Светофильтры для прибора должны иметь максимальное возможное пропускание в различных участках биологически активного ультрафиолета и полностью поглощать видимое излучение. При этом для областей А, В и С максимально пропускаем должны соответствовать длинам волн $\lambda = 254, 300$ и 365 мкм.

Для измерения ультрафиолетового возможно применение стеклянных, жидкостных, газообразных и пленочных светофильтров.

Хотя светофильтры являются прозрачными, что для линия ртутного спектра и имеет некоторые пропускания в красной части спектра, этот фильтр хорошо отсекает видимые области излучения.

Для выделения области А ультрафиолетового спектра, подходит комбинация светофильтров из СС-8.

Последний светофильтр добавлен для того, чтобы получить полное отрезание видимого излучения. Область длин волн выделить стеклянными светофильтрами не удаётся. Область $\lambda = 280 - 320$ мкм.

Наиболее подходящий оказывается использование фильтра марки ЖС-3 в сочетании с УФС-1 большой толщины для уменьшения пропускания стекла длины волн $\lambda > 365$ мкм.

Общее пропускание этой комбинации оказывается весьма малым, кроме того, максимум спектральной кривой соответствует $\lambda = 313$, а границы пропускания $\lambda = 270$ и 365 мкм. Таким образом, без применения жидкостных или каких-либо других светофильтров область В выделить невозможно. Коротковолновое ультрафиолетовое излучение также не может быть выделено с помощью

стеклянных светофильтров.

Из этих данных можно заключить, что область С хорошо выделяется газообразными светофильтрами – хлором и смесью хлора и брома, толщина кюветы при этом оказывается равной соответственно 120 и 50 мм. Это делает невозможным использование этих фильтров в приборе.

Светофильтры из плёнки металлического калия выделяют область ультрафиолета 170 – 318 мкм. Однако, технологические трудности изготовления равномерного по толщине слоя этого металла настолько велики, что практическое использование этих светофильтров исключается.

Из рассмотрения кривых спектрального пропускания жидкостных светофильтров видно, что целый ряд жидкостей обладают селективным пропусканием в различных областях ультрафиолета. Азотная кислота хорошо выделяет область С, а хромово-кислый калий область В. Недостатком этих фильтров является большое пропускание в области спектра $\lambda > 310$ мкм для первого и $\lambda > 400$ мкм для второго вещества.

Наиболее подходящим являются светофильтр из смеси растворов сернокислого кобальта и сернокислого никеля, которое обладает пропусканием в области $\lambda = 230 - 365$ мкм, а также пикриповая кислота, с сочетанием с которым стеклянный фильтр БС-4 неплохо воспроизводит спектральную кривую эритемного действия ультрафиолета.

Ценными свойствами обладают жидкости светофильтра из растворов органических веществ. Все эти светофильтры обладают одним общим недостатком – большой толщиной поглощенного слоя. Кроме того, среди шести представленных фильтров нет ни одного для выделения области В ультрафиолетового спектра, однако, отсутствие пропускания в видимых и инфракрасных частях спектра и возможность выделения отдельных линий излучения ртутного разряда делает эти фильтры весьма удобными для измерений. Наибольший практический интерес представляет светофильтр для выделения бактерицидной области ультрафиолета, что получение химически чистого дифенил - бутадиена,

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

являющегося побочным продуктом при производстве синтетического каучука, представила больше технологическую трудность.

В результате вышеприведенного анализа следующая комбинация светофильтров для выделения области В ультрафиолетового спектра, жидкостный фильтр в кварцевой кювете, толщиной 20 мм с раствором сернокислого кобальта и сернокислого никеля и стеклянные светофильтры ЖС-1, толщиной 1мм и УФС-1, толщиной 3,5 мм. Последней фильтр добавлен в комбинацию для устранения пропускания выбранной комбинации в области длин волн 530 – 630 мкм. Наличие некоторого пропускания светофильтров для части спектра с длинными волн больше 800 мкм не должно влиять на результат измерений, так как чувствительность сурьмяно–цезиевый фотоумножитель в этом участке спектра незначительная.

Примененная комбинация светофильтров особенно удобна для измерения общего излучение эритемных ламп, однако, она не позволяет произвести оценку действий эритемных ламп, так как пропускание фильтров в эритемной области действия ультрафиолета, по сравнению с общим пропусканием составляют весьма небольшую часть.

Указанная комбинация светофильтров с известной точностью можно воспроизвести кривую эритемного действия ультрафиолета.

Расчет необходимой толщины светофильтров производился на основании того, что оптическая плотность комбинированного светофильтра для каждой длины волн равна сумме оптической плотности отдельных составляющих.

Таким образом, имея два сорта переменных светофильтров, входящих в данную комбинацию, можно описать систему уравнений для двух длин волны, по которой можно определить толщину стекла и толщину слоя раствора никриновой кислоты [28].

2.3.3 Выбор электрической схемы питания приемника излучения

Правильный выбор источника питания является важным вопросом, в случае приемника фотоумножителя в качестве приемника излучения. Особенно существенно оказываются требования, предъявляемым к стабильности источника питания. Так как выходной ток фотоумножителя сильно изменяется в зависимости от подданного на него напряжения [21].

В литературе описаны многочисленные типы источников высоковольтного напряжения, которые могут найти применение в данном случае. Их можно классифицировать следующим образом:

- устройство батарейного питания;
- схема питания с регулировкой напряжения на одном из каскадов фотоумножителя;
- схемы, использующие последовательно соединённые газовые стабилизаторы;
- схемы с электронной стабилизацией.

Источник питания фотоумножителя должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- обладать высокой стабильностью напряжения;
- обеспечивать возможность измерения весьма малых величина фототока без применения на выходе умножителя дорогого электроизмерительного прибора высокой чувствительности;
- допускать регулировку усиления тока фотоумножителя, необходимым при изменении источников с различной интенсивностью излучения;
- иметь простоту и надежность в работе электрической схемы.

Батарейное питание является наиболее простым и стабильным источником напряжения для работы фотоумножителя и допускает возможность изменения его чувствительности. Применение к малогабаритным батареям, соединённых последовательно, может быть достигнуто весьма компактная конструкция

блока питания, однако, батарейного питания присущ ряд недостатков, заключающийся в следующем:

- высоковольтные батареи обладают заметной утечкой через изоляцию, что приводит их саморазрядки;
- батареи имеет небольшую ёмкость и малый срок сохранности, что требует их с частой замены, следовательно, переградуировки всего прибора;
- необходима специальная электронная схема усиления фототока, осуществление которой значительно затрудняется указанной выше утечки и батареи [23].

Все эти недостатки делают батарейное питание фотоумножителя непригодным для использования в приборе.

Во всех остальных схемах питание умножителя в качестве обязательного элемента схемы имеет высоковольтный выпрямитель, питаемый от сети переменного тока.

Способ стабилизации питающего напряжения с помощью стабилизированной ячейки, состоящей из батареи и переменного сопротивления, включенным между каскадами фотоумножителя.

Работа схемы со стабилизирующей ячейкой основано на влиянии на фокусировку пучка электронов величины междукаскадного напряжения. При изменении общего напряжения из-за колебаний напряжения сети, например, в сторону увеличения, только потом ток на фотоумножителе также увеличится. Однако, нарушение равномерного распределения напряжений, приведет к расфокусировки электронного пучка, что в свою очередь вызовет уменьшение фототока. При выборе соответствующего напряжения батареи можно подобрать такое сопротивление, при котором, оба фактора компенсируется, ток фотоумножителя останется постоянным.

Для осуществления стабилизации фототока должна быть выбрана на нисходящей ветви представленных кривых, поэтому существенное значение имеет крутизна спада фототока с ростом сопротивления. Как видно форма кривой ток

регулировки почти не зависит от того в какой каскад включена стабилизирующая ячейка.

Процентное изменение выходного тока фотоумножителя функции процентного изменения общего напряжения питания для схемы стабилизирующей ячейки и без неё. Кривая изменения фототока в первом случае идет более ниже, чем во втором, особенно при возрастании питающего напряжения. Однако, полной стабилизации фототока получить не удалось, эти обстоятельства могут быть объяснены разницей конструкции. Таким образом, метод, стабилизирующий ячейки, несмотря на свою простоту, также не мог быть использован в приборе.

Была испытана в качестве питания фотоумножителя схема стабилизации напряжения между каскадом с помощью четырнадцати газовых стабилизаторов напряжения марки СГ-4. Это схема показала вполне удовлетворительное качество стабилизации. Однако необходимость подбора идентичных по характеристикам ламп и главное, не возможность плавной регулировки усиления фотоумножителя заставило отказаться и от этой схемы.

Таким образом, для использования приборе, предпочтителен метод чисто электронной стабилизации напряжения питания фотоумножителя [24].

					БР-02069964-27.03.01-02-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

3 Экспериментальная часть

Бактерицидные лампы широко используются для уничтожения бактерий, вирусов и других опасных простейших организмов. Свое применение они находят в пищевой промышленности, медицине, водоснабжении и других сферах деятельности. От эксплуатационных характеристик ультрафиолетовых разрядных ламп низкого давления зависит их способность к уничтожению болезнетворных микроорганизмов. В связи с чем, возникает необходимость в достоверной и качественной оценке их параметров и, в частности, одной из основных характеристик – потока излучения.

Существует несколько методов измерения потока излучения бактерицидных ламп. Каждый из них не в полной мере отражает процесс измерения, так как не учитывает ряд факторов, влияющих на точность измерения.

Один из методов измерения потока излучения (далее метод № 1). Согласно методу № 1 поток излучения функционально связан с энергетической освещенностью, расстоянием от источника излучения до приемника излучения и геометрическим фактором [25]:

$$P = \gamma * E_c * R^2 \quad (43)$$

где γ – геометрический фактор, определяемый для бактерицидных облучателей при измерении углового распределения потока излучения с помощью гониометра;

E_c – измеренное значение энергетической освещенности;

R – расстояние от бактерицидного облучателя до приемника излучения.

Выражение геометрического фактора для его определения не регламентировано и не раскрывается. Исходя из данного обстоятельства, применение метода № 1 представляется невозможным на практике.

В настоящее время в мировой практике применяется метод измерения

					БР–02069964–27.03.01–02–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

потока излучения (далее метод № 2). Метод № 2 имеет вид:

$$P = \frac{E * 2\pi^2 * D * L}{2\alpha + \sin 2\alpha} \quad (44)$$

где E – энергетическая освещенность;

D – расстояние от приемника излучения до центра лампы;

L – длина светящейся части лампы;

α – половинный угловой размер светящейся части лампы относительно середины входного окна приемника излучения.

Схема измерения потока излучения бактерицидных ламп приведена в приложении А.

Метод № 2 не учитывает ряд влияющих факторов таких как:

- отклонение косинусной зависимости реакции приемного устройства;
- отражение потока излучения от поверхностей;
- пространственное распределение потока излучения конкретных ламп.

Кроме вышеописанных методов существует еще один метод измерения (далее метод № 3) имеющая вид:

$$\Phi_e = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} E_{ei} * l^2 * \sin \gamma * d\gamma * dC \quad (45)$$

где E_{ei} – средняя энергетическая освещенность пояса;

l – расстояние от источника излучения до приемника излучения;

γ, C – углы в системе фотометрирования C, γ .

Метод № 3 также не учитывает ряд влияющих факторов:

- отклонение косинусной зависимости реакции приемного устройства;
- отражение потока излучения от поверхностей.

Из приведенных методов измерений видно, что для них характерны как

общие влияющие факторы, так и характерные только для конкретного метода.

Метод № 3 является более усовершенствованным, но имеет ряд недостатков, связанных с применением его на практике. В частности, требует использование дорогостоящего оборудования (гониометра) и обладает большей трудоёмкостью, связанной со сложностью юстировки источника излучения и длительностью самих измерений. В связи с чем, на практике преимущественно используется метод № 2. Он не требует дорогостоящего оборудования, обладает меньшей трудоёмкостью, но имеет меньшую точность.

Исходя из всех существующих методов измерения процесса измерения потока излучения бактерицидных ламп и анализа их недостатков, был разработан следующий метод измерений (далее метод № 4), на основе корректировки метода № 2:

$$P = \frac{E * 2\pi^2 * D * L}{2\alpha + \sin 2\alpha} * K \quad (46)$$

где K – коэффициент влияния пространственного распределения потока излучения.

Для компактных бактерицидных ламп значение K принимается равным – 0,81; для линейных – 0,90.

Для подтверждения корректности введённого коэффициента было проведена экспериментальная оценка потока излучения линейных и компактных бактерицидных ламп по методу № 4 и методу № 3, исключая влияние пространственного распределение потока излучения.

В качестве объектов измерений были взяты следующие типы ламп: ДКБУ 95 (аналог LUVQ95W/2G11), ДБ 75-2, ДБ 30, ДБ 15, ДКБУ 11, ДКБУ 9, ДКБУ 7. Измерения проводились на фотометрической скамье ФС-М с установленным на ней поворотным устройством, в качестве приемника излучения был использован УФ-радиометр «ТКА-ПКМ (13)». Перед измерением лампы горели ~20

минут для выхода параметров на стабилизированный режим.

Расчет потока излучения по двум методам измерений проводился по одним и тем же результатам измерений энергетической освещенности как среднее арифметическое из десяти измерений [5]. Результаты измерений представлены в таблицах 4 и 5.

Т а б л и ц а 4 – Результаты измерений потока излучения линейных бактерицидных ламп

Тип ламп	№ лампы	Поток излучения, Вт		Отклонение потока излучения метода № 4 от метода № 3, %
		Метод № 4	Метод № 3	
ДБ 75-2	1	26,50	26,61	0,4
	2	21,57	21,59	0,1
	3	28,01	28,37	1,3
ДБ 30	1	7,55	7,36	-2,6
	2	7,93	7,82	-1,4
	3	9,44	9,31	-1,4
ДБ 15	1	3,68	3,60	-2,2
	2	3,68	3,67	-0,3
	3	3,83	3,79	-1,1

Т а б л и ц а 5 – Результаты измерений потока излучения компактных бактерицидных ламп

Тип ламп	№ лампы	Поток излучения, Вт		Отклонение потока излучения метода № 4 от метода № 3, %
		Метод № 4	Метод № 3	
ДКБУ 95	1	18,82	18,29	-2,9
	2	17,82	18,25	2,4
	3	22,22	22,33	0,5
ДКБУ 11	1	3,29	3,30	0,3
	2	3,29	3,19	-3,1
	3	3,32	3,24	-2,5

Окончание т а б л и ц ы 5

ДКБУ 7	1	1,56	1,50	-4,0
	2	1,52	1,49	-2,0
	3	1,52	1,57	3,2

Из таблиц 4 и 5 видно, что результаты измерения потока излучения линейных бактерицидных ламп, полученные при использовании метода № 4 в среднем на 0,8 % больше, чем полученные при использовании метода № 3, компактных ламп – на 1,2 %. Полученные отклонения не являются критичными, так как по стандартизованной методике измерения потока излучения допустимое значение основной погрешности измерения – 10%. Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод о том, что предложенный метод № 4 позволяет учесть пространственное распределение потока излучения и увеличить точность измерения. Кроме того, данный метод измерения позволяет не использовать дорогостоящее оборудование и проводить измерения с меньшей трудоемкостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы были решены следующие задачи:

- рассмотрены источники излучения, в частности ультрафиолетовое излучение и их основные параметры;
- проанализированы методы измерения фотометрических параметров источников ультрафиолетового излучения;
- рассмотрены основные средства измерения фотометрических параметров источников ультрафиолетового излучения и требования к ним;
- проведены экспериментальные сравнения методов измерения потока излучения бактерицидных ламп.

					БР–02069964–27.03.01–02–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Бейкер А. Фотоэлектронная спектроскопия : учебное пособие для вузов : пер. с англ. / А. Бейкер. – М. : Наука, 2005. – 97 с.

2 Галанин Н. Ф. Лучистая энергия и ее гигиеническое значение : учебное пособие для вузов / Н. Ф. Галанин. – М. : Знание, 2001. – 45 с.

3 Горбунков В. И. Оценка поглощенной дозы излучения газоразрядной лампы : учебное пособие / В. И. Горбунков. – М. : Оптика и спектроскопия, 2007. – 280 с.

4 Горбунков В. И. Роль светонепроницаемой полости в установлении равновесного излучения газоразрядной лампы : учебное пособие / В. И. Горбунков. – М. : Наука, – 2010. – 176 с.

5 ГОСТ 8.197–2013. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности потока излучения, спектральной плотности энергетической освещенности, спектральной плотности силы излучения, потока и силы излучения в диапазоне длин волн 0,001–1,600 мкм. – Взамен ГОСТ 8.197–2005; ГОСТ 8.273–78; введ. 2015–05–01. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии ; М. : Стандартиформ, 2014. – 8 с.

6 ГОСТ Р 8.760–2011. Измерение энергетических и эффективных характеристик ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей. - Введен впервые; введ. 2013–01–01. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии ; М. : Стандартиформ, 2014. – 7 с.

7 ГОСТ 8.552–2013. Государственная поверочная схема для средств измерений потока излучения, энергетической освещенности, спектральной плотности энергетической освещенности в диапазоне длин волн 0,0004–0,400 мкм. – Взамен ГОСТ 8.552–2001; введ. 2015-05-01. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии ; М. : Стандартиформ, 2019. – 6 с.

8 Гуревич М. М. Введение в фотометрию : учебное пособие / М. М. Гуревич. – М. : Энергия, - 2008. – 244 с.

					БР–02069964–27.03.01–01–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

9 Дубров. А. П. Генетические и физиологические эффекты действия ультрафиолетовой радиации на высшие растения : учебное пособие для вузов / А. П. Дубров. – М. : Просвещение, 2009. – 44 с.

10 Зайдель А. Н. Спектроскопия вакуумного ультрафиолета : справочник : пер. с англ. / А. Н. Зайдель, Е. Я. Шрейдер. – М. : Агропромиздат, 2007. – 52 с.

11 Карандашов В. И. Ультрафиолетовое облучение крови : справочник / В. И. Карандашов, Е. Б. Петухов. – М. : Медицина, 2013. – 232 с.

12 Мейер Э. Ультрафиолетовое излучение : учебное пособие для вузов : пер. с англ. / Э. Мейер, А. Зейтц. – М. : Наука, 2012. – 63 с.

13 Мясник М. Н. Генетический контроль радиочувствительности бактерий : учебное пособие для вузов / М. Н. Мясник. – М. : Стройиздат, 2014. – 36 с.

14 Лазарев Д. Н. Ультрафиолетовая радиация и ее применение : справочник / Д. Н. Лазарев. – М. : Энергия, 2010. – 18 с.

15 Потапченко Н. Г. Использование ультрафиолетового излучения в практике обеззараживания воды : учебное пособие для вузов / Н. Г. Потапченко, О. С. Савлук. – М. : Химия и технология воды, 2017. – 106 с.

16 Рохлин Г. Н. Разрядные источники света : учебное пособие / Г. Н. Рохлин. – М. : Энергия, 2001. – 720 с.

17 Рощупкин Д. И. Фотобиологические процессы в биомембранах при действии ультрафиолетового излучения на клетки, ткани и органы животных : справочник / Д. И. Рощупкин, М. А. Мурина. – М. : Биофизика, 2010. – 105 с.

18 Савельев В. С. Коррекция гемореологических расстройств методом ультрафиолетового облучения крови : учебное пособие для вузов / В. С. Савельев, Н. П. Александрова, Е. Б. Петухов. – М. : Наука, 2012. – 232 с.

19 Сапожников Р.А. Теоретическая фотометрия : справочник / Р.А Сапожникова. – М. : Энергия, 2007. – 269 с.

20 Смит К. Молекулярная фотобиология : учебное пособие для вузов : пер. с англ / К. Смит, Ф. Хэнеуолт. – М. : Просвещение, 2014. – 97 с.

					БР–02069964–27.03.01–01–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

21 Соколов В. Ф. Обеззараживание воды бактерицидными лучами : справочник / В. Ф. Соколов. – М. : Наука, 2015. – 50 с.

22 Столяров. К. П. Химический анализ в ультрафиолетовых лучах : справочник / К. П. Столяров. – М. : Просвещение, 2012. – 44 с.

23 Уэймаус Д. Газоразрядные лампы : учебное пособие / Д. Уэй-маус. – М. : Энергия, 2000. – 345 с.

24 Хоровиц П. Искусство схемотехники : справочник / П. Хоровиц. – М. : Наука, 2000. – 704 с.

25 Чуваткина Т. А. Математическая модель процесса измерения потока излучения бактерицидных ламп / Т. А. Чуваткина, А. В. Агапов, Н. А. Балашов, Д. А. Агапов // Журнал – М. : Казань, 2019. – 218 с.

26 Штурм К. Г. Пускорегулирующая аппаратура и схемы включения люминесцентных ламп : учебное пособие / К. Г. Штурм. – М. : Наука, 2001. – 375 с.

27 Шульгин. И. А. Растение и солнце : справочник / И. А. Шульгина. – М. : Наука, 2000. – 18 с.

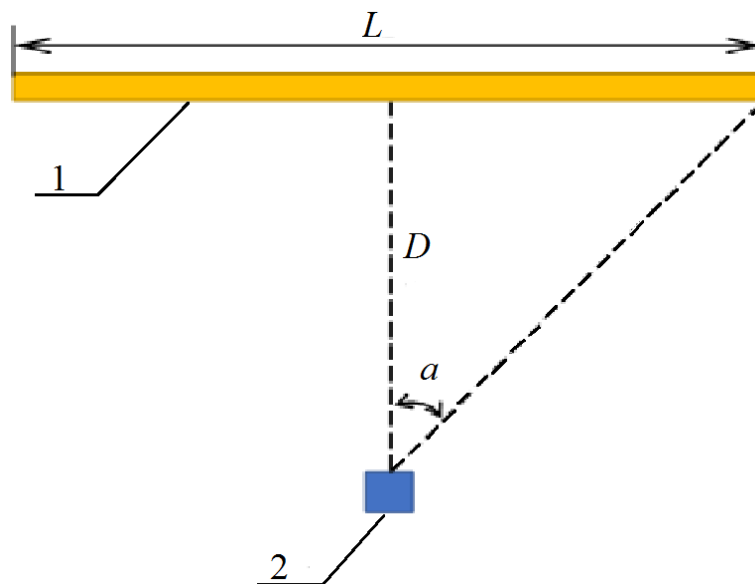
28 Эпштейн М. И. Спектральные измерения в электро-вакуумной технике : учебное пособие / М. И. Эпштейн. – М. : Энергия, 2004. – 142 с.

					БР–02069964–27.03.01–01–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Схема измерения потока излучения бактерицидных ламп



1 - Источник; 2 - Приемник излучения

Рисунок А.1 – Схема измерения потока излучения бактерицидных ламп