ЭКОМЕТРИЯ

# ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

# КОНТРОЛЬ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ОПАСНЫХ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА

сертификат ран

ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО
СТАНДАРТОВ




# ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

СЕРИЯ СПРАВОЧНЫХ ИЗДАНИЙ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКИМ И МЕДИЦИНСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ
В. Н. КРУТИКОВ, Ю. И. БРЕГАДЗЕ, А. Б. КРУГЛОВ

# КОНТРОЛЬ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ОПАСНЫХ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА

МОСКВА
ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ 2003

**УДК 658.3:577.47**

**Контроль физических факторов окружающей среды, опасных для человека:** Энциклопедия «Экометрия» из серии справочных изданий по экологическим и медицинским измерениям» — М: ИПК Издательство стандартов, 2003 — с. 376

В предлагаемом справочном издании из серии «Экометрия» приведены современные данные о контроле опасных и вредных физических факторов, воздействующих на человека вне процесса его трудовой деятельности. Рассмотрено воздействие широкого класса полей и излучений, таких как электромагнитное, возникающее вблизи высоковольтных линий электропередач, антенн радиопередающих станций, мобильных телефонов и электробытовой техники, оптическое излучение, в особенности ультрафиолетовое излучение солнца, усиливающееся за счет разрушения озонового слоя атмосферы, ионизирующее излучение как внешнее, так и внутреннее за счет попадания в организм радионуклидов (присутствие радона в жилищах, загрязнение радионуклидами пищевых продуктов и стройматериалов). Большое внимание уделено акустическим факторам, таким как городской шум, шум внутри транспортных средств и вблизи аэродромов. В справочнике рассмотрены и такие факторы, как запыленность воздуха и его ионный состав. Читатель найдет в книге краткие сведения о воздействии опасных и вредных физических факторов окружающей среды на человека, основы их нормирования и сами нормы, установленные для населения, а также краткие сведения о методах защиты, например от ультразвукового излучения и акустического шума.

Большие разделы соответствующих глав посвящены приборам, прошедшим испытания и допущенным к применению в стране, а также методикам выполнения измерений и методикам поверки приборов. Каждый раздел книги написан ведущими специалистами в области приборостроения и метрологии.

Книга рассчитана на специалистов учреждений и организаций государственной санитарно-эпидемиологической службы, природоохранных организаций, как государственных, так муниципальных и общественных, территориальных органов Госстандарта России, работников коммунальной сферы

ISBN 5—7050—0473—7

**© ЗАО «НТЦ Экспертцентр», 2003**
**© Авторский коллектив, 2003**
**© ИПК Издательство стандартов, 2003**

# SUMMARY

In suggested reference book «Control of Parameters of Human Dangerous and Harmful Physical Environmental Factors» over series «ECOMETRY» the modem data on the control of the dangerous and harmful physical factors human health effects outside of process of professional activity are resulted. Influence of a wide class of fields and radiation, such as electromagnetic, arising near to high-voltage power lines, radio transmission station antennae, mobile phones and home appliances, optical radiation, in particular the ultra-violet radiation of the sun amplifying due to destruction of an ozone cloud of an atmosphere, ionizing radiation both external, and internal is considered due to hit in an organism radio nuclear unites (a problem of radon in dwellings, pollution by radio nuclear unites foodstuff and building materials). The big attention is given to acoustic factors, such as city noise, noise inside vehicles and near to airports. In the reference book such factors, as a dust content of air and its ionic structure are considered also. The reader will find in the book brief data on effects of exposure of dangerous and harmful physical environmental factors to human organism, bases of their hygienic rate setting and hygienic norms, established for general public, and also brief data on methods of protection, for example from ultra-violet radiation and acoustic noise.

The big sections of corresponding chapters are devoted to the devices tested and allowed to application in Russian Federation, and also techniques of performance of measurements and techniques of checking of devices. Each section of the book is written by large experts in the field of hygienic standardization, instrument making and metrology.

The book is intended for experts of establishments and organizations of the state sanitary-epidemiological service, the environment protection organizations, as state, so municipal and public, territorial bodies of State Standard of Russia, workers of municipal sphere.

# ГОССТАНДАРТ РОССИИ
# МИНЗДРАВ РОССИИ
# МЧС РОССИИ
# МИНТРУД РОССИИ


## Редакционно-издательский совет
## Президиум редакционно-издательского совета:

**Алешин Б.С.** — Председатель президиума редакционно-издательского совета, заместитель Председателя Правительства Российской Федерации;

**Крутиков В.Н.** — член президиума редакционно-издательского совета, заместитель Председателя Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии;

**Онищенко Г.Г.** — член президиума редакционно-издательского совета, Первый заместитель Министра здравоохранения Российской Федерации;

**Фалеев М.И.** — член президиума редакционно-издательского совета, заместитель Министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий;

**Январев В.А.** — член президиума редакционно-издательского совета, Первый заместитель Министра труда и социального развития Российской Федерации.

## Редакционная коллегия:

**Крутиков В.Н.** — главный редактор;
**Брегадзе Ю.И.** — зам. главного редактора (ФГУП «ВНИИФТРИ»);
**Круглов А.Б.** — редактор-составитель;
**Васильев Д.Р.** — член редколлегии (ФГУП «ВНИИФТРИ»);
**Губина Н.Б.** — член редколлегии (Минтруд России),
**Гульченко Л.П.** — член редколлегии (Департамент Госсанэпиднадзора Минздрава России);
**Иванов В.С.** — член редколлегии (ФГУП «ВНИИОФИ»);
**Кучеренко А.И.** — член редколлегии (Департамент Госсанэпиднадзора Минздрава России);
**Лахов В.М.** — член редколлегии (Госстандарт России);
**Сорокин Ю.Г.** — член редколлегии (Минтруд России);
**Толпекин И.Г.** — член редколлегии (АО «Экспертцентр»);
**Федоренко В.В.** — член редколлегии (АО «Экспертцентр»);
**Шевченко А.В.** — член редколлегии (ЦСИ ГЗ МЧС России).

**Коллектив авторов и редакционно-издательский совет приносят благодарность руководителям АО «Экспертцентр»**

***ТОЛПЕКИНУ Илье Геннадиевичу* и *ФЕДОРЕНКО Василию Васильевичу***

**за финансовую поддержку подготовки рукописи к изданию**

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Очередной том энциклопедии «Экометрия» «Контроль физических факторов окружающей среды, опасных для человека» является первой книгой, выходящей после принятия Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Согласно принятому Закону техническое регулирование — правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия. В соответствии со ст. 6 Закона технические регламенты принимаются в целях: защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества; охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений; предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей.

Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие: безопасность излучений; биологическую безопасность; взрывобезопасность; механическую безопасность; пожарную безопасность; промышленную безопасность; термическую безопасность; химическую безопасность; электрическую безопасность; ядерную и радиационную безопасность; электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования; единство измерений (ст. 7 Закона).

Согласно утвержденной «Программе разработки технических регламентов на 2003—2010 годы» предусматривается разработка таких общих технических регламентов, как «Безопасность излучений», «О безопасности пищевой продукции», общий технический регламент и свод специальных технических регламентов «Об использовании атомной энергии» и ряд других. При разработке этих регламентов авторы найдут много ценных материалов в предлагаемой книге, а также в предыдущих изданиях серии «Экометрия»: «Контроль химических и биологических параметров окружающей среды» (С.-Пб.: Изд-во «Крисмас», 1998) и «Контроль физических факторов производ-

ственной среды, опасных для человека» (М.: ИПК Издательство стандартов, 2002).

Особый интерес для разработчиков технических регламентов приобретают вопросы обеспечения единства измерений при контроле безопасности при воздействии опасных и вредных производственных факторов и факторов окружающей среды. Вопросы обеспечения единства измерений должны найти отражение при разработке практически всех общих и специальных технических регламентов.

Председатель президиума редакционно-издательского
совета энциклопедии «Экометрия»,
член-корреспондент РАН, профессор, доктор
технических наук

**Б.С. Алешин**

Главный редактор
энциклопедии «Экометрия»,
заместитель Председателя Госстандарта России,
кандидат физико-математических наук

**В.Н. Крутиков**

# ВВЕДЕНИЕ

Настоящее издание состоит из глав, написанных различными авторами или авторскими коллективами. Каждая глава посвящена определенному физическому фактору или группе физических факторов, воздействующих на население вне его производственной деятельности.

Обычно различают чисто природные опасные физические факторы, которые существуют с момента образования планеты. К ним относятся ультрафиолетовое излучение Солнца, космическое ионизирующее излучение и естественно-радиоактивные нуклиды (ЕРН), содержащиеся в земной коре и объектах окружающей среды, аэрозоли и аэроионы. Принято также говорить о техногенных факторах, источниками которых является жизнедеятельность человека и которые усиливают действие природных факторов. К ним можно отнести применение в технике хлорсодержащих хладонов, разрушающих озоновый слой атмосферы и усиливающих поток ультрафиолетового излучения Солнца, достигающего поверхности Земли. К техногенным факторам относятся также локальные изменения распределения ЕРН, образуемые за счет производственной деятельности человека, что приводит к изменению уровня радиационного воздействия в отдельных регионах, увеличение запыленности атмосферы (аэрозоли) и изменение ее аэроионного состава. Наконец, мы часто сталкиваемся с антропогенными физическими факторами. Это факторы преимущественно созданные человеком: высоковольтные линии электропередач, электробытовая техника, радиопередающие и принимающие системы (мобильные телефоны), солярии, такие источники ионизирующей радиации, как рентгеновские аппараты, ускорители, ядерные реакторы, искусственно-радиоактивные элементы. К антропогенным факторам можно отнести также акустический шум транспортных средств.

Авторы постарались рассмотреть эти факторы. Ряд глав содержит рекомендации по снижению воздействия опасных и вредных факторов. Так, в гл.1 даются рекомендации пользователям радиотелефонов, уменьшающие риск воздействия электромагнитного поля на здоровье; в гл. 2 упоминаются солнцезащитные средства; в гл. 3 излагаются требования по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии; в гл. 4 большое внимание уделено строительным методам защиты от шума транспортных средств жилых и обще-

ственных зданий при планировании городской застройки; в гл. 6 излагаются методы коррекции аэроионного состава воздуха в помещениях.

Логика изложения материала в каждой главе следующая. Вначале идет описание общих физических характеристик опасных и вредных факторов, воздействующих на организм человека, приводятся измеряемые величины. Затем кратко, в доступной для инженерно-технических работников форме, излагается механизм воздействия физического фактора на организм человека и возможная реакция на это воздействие. Далее следует описание подходов к нормированию опасных и вредных физических факторов. Приводятся и сами нормы. В последующих разделах приводятся характеристики средств измерений, используемых для контроля соответствующих физических факторов. Приводятся данные о средствах измерений, прошедших приемочные испытания, внесенных в Государственный реестр и допущенных к обращению в стране. Даются ссылки на методики выполнения измерений, утвержденные в установленном порядке, и в ряде глав примеры методик, по образцу которых работники измерительных лабораторий могут разработать недостающие с последующей их аттестацией.

Наконец, последние разделы посвящены метрологическому обеспечению измерений. Здесь приводятся общие принципы обеспечения единства измерений соответствующих характеристик опасных и вредных физических факторов окружающей среды. Даются ссылки на методики поверки приборов, утвержденные в установленном порядке, а в ряде глав и примеры методик поверки.

В каждой главе имеется список литературы, содержащий ссылки на отечественные нормативные документы и документы международных организаций, оригинальные статьи, опубликованные в периодической научной печати, монографии.

Авторы будут благодарны за замечания и предложения читателей, которые могут быть учтены при возможном переиздании книги в связи с непрерывно изменяющейся нормативной базой и обновляющимся парком средств измерений.

Руководитель авторского коллектива — научный редактор книги,
заслуженный деятель науки Российской Федерации,
действительный член Метрологической академии,
профессор, доктор технических наук

**Ю.И. Брегадзе**

# Глава 1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

**В.А. Тищенко, В.И. Токатлы, В.И. Лукьянов, Н.Б. Рубцова, Л.В. Походзей**

Электромагнитное поле является особой формой материи. Различные части спектра электромагнитного поля характеризуются разными областями значений величины, которую называют частотой или связанной с ней через скорость света в вакууме длиной волны. В зависимости от этого параметра спектр электромагнитных излучений обычно делят на три части: радиоизлучение (диапазон длин волн до 0,1 мм), оптическое, включающее в себя инфракрасную, видимую и ультрафиолетовую области (до $10^{-2}$ мкм) и ионизирующее, к которому относят рентгеновское и гамма-излучения. При такой классификации спектра электромагнитных излучений исключаются электромагнитные явления, не зависящие от времени, соответствующие бесконечно большой длине волны или нулевой частоте, т.е. статические поля. Однако, электростатические и магнитостатические поля также являются физическими факторами, воздействующими на человека.

В данной главе рассмотрены электромагнитные поля: статические и с частотами от 0 до 300 ГГц. К факторам электромагнитной природы, находящимся в этом диапазоне, к потенциально опасным для здоровья человека относят гипогеомагнитные поля, постоянные электрические и магнитные поля, переменные электромагнитные поля (ЭМП) в диапазоне частот от 1 Гц до 300 ГГц, в котором особо выделяют электромагнитные поля промышленной частоты 50/60 Гц (ЭМП ПЧ) и электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ) от 10 кГц до 300 ГГц.

Электростатическое поле (ЭСП) отмечается часто в бытовых условиях при использовании тканей из волокон с высокими диэлектрическими свойствами, эксплуатации персональных ЭВМ, при применении установок для ионизации воздушного пространства и т. д.

Источниками постоянного магнитного поля (ПМП) в быту могут быть средства электротранспорта (поезда метрополитена, железной дороги, трамваи), физиотерапевтическая аппаратура или диагностическое оборудование (установки ядерного магнитного резонанса).

Источниками ЭМП ПЧ являются элементы токопередающих систем различного напряжения (линии электропередачи, распредели-

тельные устройства и др.), электротранспорт, различные типы бытового электрооборудования.

Источниками электромагнитной энергии радиочастотного и микроволнового диапазонов в окружающей среде служат антенные системы радиолокационных станций, радио- и телерадиостанций, в том числе систем мобильной радиосвязи, а также физиотерапевтические аппараты и персональные ЭВМ. Причем, уровень электромагнитных полей радиочастотного диапазона искусственного происхождения, созданных человеком, существенно превышает уровень естественных полей.

Из-за того, что у человека нет органов чувств, непосредственно реагирующих на ЭМП РЧ, населению практически неизвестен тот факт, что в спектре электромагнитных излучений Земли из-за радиочастотных излучений произошли масштабные изменения. В некоторых участках спектра излучений Земля «светит» ярче Солнца. Такое сильное отклонение от естественного состояния электромагнитного спектра планеты произошло в XX веке в результате изобретения беспроводных средств коммуникаций, использующих электромагнитные волны радиочастотного диапазона. Радиосвязь, телевидение, радионавигация, системы сотовой телефонной связи явились источниками негативного влияния на окружающую среду и человека.

Особо нужно выделить сотовую связь. Беспроводная связь на радиочастотах возникла более ста лет назад, и аспекты безопасности при ее использовании достаточно хорошо изучены и регламентированы в законодательных актах и многочисленных нормативных документах. Традиционная беспроводная связь (радиосвязь) в отличие от проводной связи (телефонии) для потребителя была односторонней. Радиоцентры, являющиеся источниками электромагнитного излучения, находились у профессионально подготовленных людей, обеспечивающих передачу радиосигналов, а потребитель имел возможность с помощью радиоприемников их принимать. В радиоцентр можно было позвонить по телефону, но возможности связаться с радиоцентром таким же способом, как радиоцентр с потребителем, не было. У массового потребителя отсутствовал необходимый компонент двухсторонней связи — радиопередатчик. Теперь, с развитием системы сотовой персональной связи, такая возможность появилась. В руки потребителя в буквальном смысле попал достаточно мощный источник ЭМП, который с помощью антенны не только осуществляет связь и передает информацию (полезный эффект), но и производит облучение самого потребителя (опасный эффект).

Для решения вопросов обеспечения экологической безопасности ЭМП в первую очередь необходимо определить величины, которы-

ми характеризуется электромагнитное поле, и единицы, в которых они измеряются.

## 1.1. Характеристики электромагнитного поля

Существуют четыре основные векторные функции координат и времени, определяющие электромагнитное поле:

$\vec{E}(\vec{r},t)$ — напряженность электрического поля;

$\vec{D}(\vec{r},t)$ — электрическая индукция;

$\vec{H}(\vec{r},t)$ — напряженность магнитного поля;

$\vec{B}(\vec{r},t)$ — магнитная индукция.

Радиус-вектор $\vec{r}$ означает зависимость от пространственных координат, $t$ — от времени.

В изотропной среде (в среде, свойства которой не зависят от направления) векторы $\vec{D}$ и $\vec{H}$ связаны с $\vec{E}$ и $\vec{B}$ соотношениями:

$$\vec{D}=\varepsilon\vec{E}\,;\quad \vec{B}=\mu\vec{H}\,;\quad \vec{j}=\sigma\vec{E}\,, \tag{1.1}$$

где $\varepsilon$ — диэлектрическая проницаемость — параметр, характеризующий электрические свойства среды, $\mu$ — магнитная проницаемость — параметр, характеризующий магнитные свойства среды, $\vec{j}$ — плотность тока проводимости, $\sigma$ — удельная проводимость среды.

В частности, в вакууме $\varepsilon = \varepsilon_0$, $\mu = \mu_0$, $\varepsilon_0 = 10^7/4\pi c^2$ Ф/м — электрическая постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная, $c = 2{,}9979 \cdot 10^8$ м/с — скорость света в вакууме.

Используя последнее соотношение из (1.1), можно вывести формулу:

$$U = I\frac{l}{\sigma S} = IR, \tag{1.2}$$

где $R$ — электрическое сопротивление цилиндрического проводника длиной $l$ с площадью поперечного сечения $S$.

Наличие связи (1.1) позволяет для характеристики электромагнитного поля в воздухе, а также в вакууме и вообще в любой изотропной среде использовать вместо четырех величин только две: либо $\vec{D}$ или $\vec{E}$ (обычно используют $\vec{E}$), либо $\vec{B}$ или $\vec{H}$ (используют как ту, так и другую величину).

Определить электромагнитное поле в некоторой области пространства, например в воздухе, значит определить векторы $\vec{E}$ и $\vec{B}$ или $\vec{H}$ в каждый момент времени в каждой точке пространства.

Перечисленные выше векторные величины являются силовыми характеристиками электромагнитного поля. Так, $\vec{E}$ является отношением силы, действующей на положительный точечный заряд и направленной вдоль скорости движения, если заряд движется, к заряду. В свою очередь, $\vec{B}$ есть отношение силы, действующей на положительный точечный заряд и направленной перпендикулярно скорости движения, к произведению заряда на модуль скорости движения.

В Международной системе единиц (СИ) величины, связанные с электромагнитным полем, именуются электрическими. В качестве основной электрической величины выбрана сила электрического тока, с единицей измерения ампер, размерность которой ($I$) входит во все производные единицы измерения электрических величин.

В табл. 1.1 приведены основные величины, характеризующие электромагнитное поле и единицы их измерения.

Таблица 1.1

**Величины, характеризующие электромагнитное поле**

| Величина | Единица измерения | | |
|---|---|---|---|
| | Наименование | Обозначение | Размерность |
| Напряженность электрического поля | Вольт на метр | В/м | $LMT^{-3}I^{-1}$ |
| Электрическая индукция | Кулон на квадратный метр | Кл/м$^2$ | $L^{-2}TI$ |
| Напряженность магнитного поля | Ампер на метр | А/м | $L^{-1}I$ |
| Магнитная индукция | Тесла | Тл | $MT^{-2}I^{-1}$ |
| Плотность тока | Ампер на квадратный метр | А/м$^2$ | $IM^{-2}$ |
| Сила тока | Ампер | А | $I$ |
| Электрический заряд | Кулон | Кл | $TI$ |
| Электрическое напряжение | Вольт | В | $L^2MT^{-3}I^{-1}$ |
| Плотность потока энергии электромагнитного поля | Ватт на квадратный метр | Вт/м$^2$ | $MT^{-3}$ |

По временной зависимости величины, характеризующие электромагнитное поле, подразделяются на следующие основные виды:

1) постоянные (не зависящие от времени);
2) гармонические колебания;
3) произвольные периодические колебания;
4) импульсы;
5) шумы;
6) модулированные колебания.

В отличие, например, от акустических полей, которые представляют собой зависимость некоторой одной скалярной величины от времени, электромагнитное поле является более сложным объектом, так как описывается двумя векторными величинами $\vec{E}(\vec{r},t)$ и $\vec{H}(\vec{r},t)$, т.е. шестью скалярными величинами. Специфику описания временной зависимости электромагнитного поля можно продемонстрировать на примере наиболее распространенного вида колебаний – гармонического колебания. Это колебание описывается следующими математическими выражениями:

$$\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_c(\vec{r})\cos(2\pi ft) + \vec{E}_s(\vec{r})\sin(2\pi ft),$$

$$\vec{H}(\vec{r},t) = \vec{H}_c(\vec{r})\cos(2\pi ft) + \vec{H}_s(\vec{r})\sin(2\pi ft),$$

где $\vec{E}_c(\vec{r})$, $\vec{E}_s(\vec{r})$ — амплитудные векторы напряженности электрического поля, зависящие только от пространственных координат и ортогональные друг другу; $\vec{H}_c(\vec{r})$, $\vec{H}_s(\vec{r})$ — амплитудные векторы напряженности магнитного поля, зависящие только от пространственных координат и ортогональные друг другу; $f$ — частота колебания. С частотой однозначно связаны такие величины как $\omega = 2\pi f$ — круговая частота, $T = 1/f$ — период колебания, $\lambda = c/f$ — длина волны.

В случае гармонического колебания, напряженность электрического (магнитного) поля характеризуется частотой и двумя векторными величинами (шестью скалярными). Если один из векторов равен нулю, то напряженность электрического (магнитного) поля не меняет своей ориентации в пространстве, изменяясь во времени только по величине и меняя направление на противоположное при прохождении через нуль. В общем случае (оба вектора отличны от нуля), конец вектора $\vec{E}(\vec{r},t)$ $(\vec{H}(\vec{r},t))$ описывает эллипс, а если $\left|\vec{E}_c(\vec{r})\right| = \left|\vec{E}_s(\vec{r})\right|$ $\left(\left|\vec{H}_c(\vec{r})\right| = \left|\vec{H}_s(\vec{r})\right|\right)$, то — окружность. При этом эл-

липс (окружность) расположен в плоскости, проходящей через векторы $\vec{E}_c(\vec{r})$ $(\vec{H}_c(\vec{r}))$ и $\vec{E}_s(\vec{r})$ $(\vec{H}_s(\vec{r}))$.

В случае произвольных периодических колебаний конец вектора $\vec{E}(\vec{r},t)$ $(\vec{H}(\vec{r},t))$ описывает в пространстве замкнутую кривую, форма которой может быть весьма сложной.

Постоянное электрическое поле часто называют электростатическим. Оно создается заряженными диэлектрическими или металлическими телами. Графически структуру электрического поля принято изображать при помощи силовых линий, к которым вектор напряженности электрического поля касателен в каждой точке. Каждая силовая линия начинается на положительном заряде и заканчивается на отрицательном или уходит в бесконечность. Густота силовых линий качественно характеризует модуль напряженности электрического поля. Наиболее простую структуру имеет электрическое поле неподвижного точечного положительного заряда. Если поместить точечный положительный заряд $q$ в начало декартовой системы координат, то вектор $\vec{E}(\vec{r})$ будет направлен вдоль радиуса-вектора $\vec{r}$ и его модуль будет убывать обратно пропорционально квадрату расстояния $|\vec{r}|$. В этом случае силовые линии — лучи, выходящие из начала координат (рис. 1.1).

Более сложную структуру имеет система, состоящая из двух равных по величине и противоположных по знаку точечных зарядов (рис. 1.2).

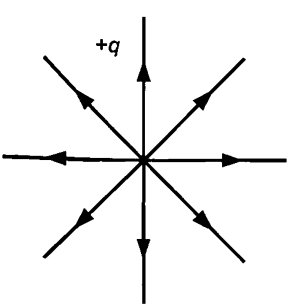



Рис. 1.1

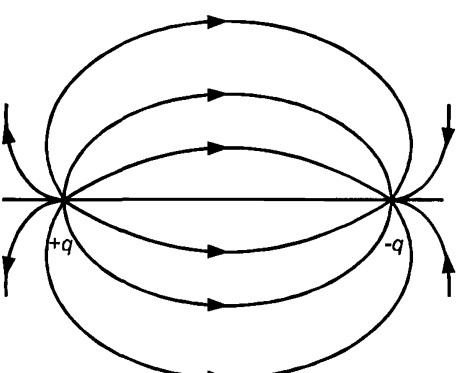



Рис. 1.2

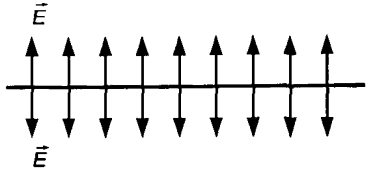



Рис. 1.3

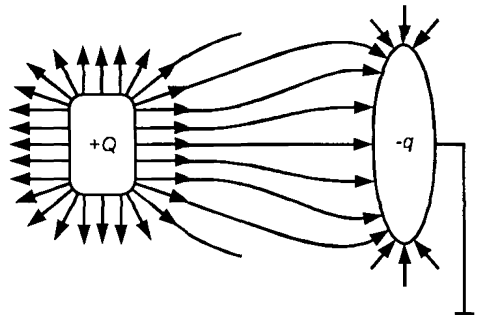



Рис. 1.4

Наконец, самую простую структуру имеет электрическое поле равномерно заряженной плоскости (рис. 1.3). Выше и ниже плоскости электрическое поле является однородным (напряженность электрического поля одинакова во всех точках), а вектор $\vec{E}(\vec{r})$ перпендикулярен заряженной плоскости.

Практически в любой реальной структуре постоянного электрического поля можно найти структурные элементы, изображенные на рис. 1.1—1.3. Например, имеется положительно заряженное металлическое тело (рис. 1.4), и на некотором расстоянии от него — заземленное металлическое тело. Так как одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются, то положительные заряды уйдут с заземленного тела в землю, и оно зарядится отрицательно. Поэтому в целом структура электрического поля будет похожа на структуру, изображенную на рис. 1.2. Вблизи плоских участков обоих тел электрическое поле будет по структуре близко к однородному полю (рис. 1.3), а вблизи острых кромок похоже на электрическое поле, изображенное на рис. 1.1. Подобным образом можно проанализировать любую систему заряженных тел.

Постоянное магнитное поле создается постоянным магнитом или проводниками с постоянным током. Графически структуру постоянного магнитного поля изображают при помощи силовых линий магнитного поля — линий, к которым вектор напряженности магнитного поля касателен в каждой точке.

Простейшим элементом, создающим магнитное поле, является бесконечно тонкий прямолинейный провод с постоянным током. В этом случае силовые линии магнитного поля — окружности, центры которых расположены на проводе с током, а сами окружности лежат в плоскостях, перпендикулярных проводу.

При наличии временной зависимости электрическое и магнитное поля связаны друг с другом и образуют единое целое — электромаг-

нитное поле. В случае гармонических колебаний, пространственная структура электромагнитного поля зависит не только от распределения зарядов и токов на некотором проводящем теле, но и от частоты, а точнее от соотношения между длиной волны $\lambda$ и размерами источника $L_u$ и расстоянием от источника до точки наблюдения $R$:

1) $L_u << \lambda$; $R << \lambda$. Размеры источника и расстояние от источника до точки наблюдения малы по сравнению с длиной волны. В этом случае электрическое и магнитное поля практически не зависят друг от друга. Электрическое поле возбуждается только зарядами, а магнитное — только токами. При этом в каждый момент времени в каждой точке пространства, удовлетворяющей условию $R << \lambda$, мгновенное значение напряженности электрического (магнитного) поля соответствует мгновенному значению распределения зарядов (токов). По величине и направлению эти значения такие же, как при постоянном распределении зарядов (токов). При выполнении этого условия точка наблюдения находится в ближней зоне. В рассматриваемом случае нет электромагнитного излучения, а есть независимые друг от друга квазистатические переменные электрическое и магнитное поля. Поэтому объект, находящийся в таком электромагнитном поле, подвергается как бы отдельно воздействию электрического и магнитного полей. Так как физические механизмы взаимодействия электрического и магнитного полей с помещенным в них телом разные, предельно допустимые уровни устанавливаются отдельно для электрического и магнитного полей.

2) $L_u << \lambda$; $R >> \lambda$. При выполнении условия $R >> \lambda$ говорят, что точка наблюдения находится в дальней зоне. В этой зоне независимо от вида источника (переменные заряды или токи) существует сформировавшееся электромагнитное поле в виде сферической волны, которая распространяется во все стороны от источника электромагнитного поля. В такой волне векторы напряженности электрического и магнитного полей перпендикулярны друг другу и направлению распространения волны, а их модули связаны соотношением

$$\left|\bar{E}\right| = W_0 \left|\bar{H}\right|, \tag{1.3}$$

где $W_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0}$ — волновое сопротивление свободного пространства.

При этом модули напряженности электрического и магнитного полей убывают обратно пропорционально расстоянию от источника до точки наблюдения.

Распространение электромагнитной волны сопровождается переносом энергии электромагнитного поля в направлении распростра-

нения волны. Плотность потока энергии электромагнитного поля $p$ определяется по формуле

$$p = \frac{1}{2\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \left( \varepsilon_0 \vec{E}^2 + \mu_0 \vec{H}^2 \right); \qquad (1.4)$$

3) $L_u >> \lambda$. Как правило, источники излучения, для которых выполняется это условие, являются антеннами радиолокаторов или систем дальней связи. В отличие от предыдущего случая, кроме ближней и дальней зоны, есть еще промежуточная зона, в которой электромагнитная волна распространяется по законам геометрической оптики и в случае зеркальной антенны или многоэлементной антенной решетки имеет вид прожекторного луча.

Независимо от того, в какой зоне находится объект, подвергаемый воздействию электромагнитного поля, характер воздействия, главным образом, зависит от соотношения между длиной волны $\lambda$ и размером объекта $L_o$. Если $L_o << \lambda$, то даже, если объект расположен в промежуточной или дальней зоне, электрическое и магнитное поля воздействуют на объект, возбуждая в нем токи, как независимо существующие поля, которые взаимодействуют сразу со всем объектом. В этом случае, например, для оценки тепла, выделяемого в объекте, надо найти токи, возбуждаемые электрическим и магнитным полями отдельно, а затем по суммарному току рассчитать выделяемое в объекте тепло.

Если $L_o >> \lambda$, то объект находится в поле электромагнитной волны, как в едином целом. В этом случае оценивается предельное значение тепла, которое можно выделить в объекте, умножив плотность потока энергии электромагнитного поля на площадь максимального сечения объекта в плоскости, перпендикулярной направлению распространения электромагнитной волны.

Как уже отмечалось выше, напряженность электрического (магнитного) поля является векторной функцией времени и координат, и измерение ее в каждый момент времени и в каждой точке пространства не реально, да в этом и нет необходимости. Поэтому, когда говорят об измерении напряженности переменного электрического (магнитного) поля, то подразумевают, что речь идет об измерении одного или нескольких скалярных параметров напряженности электрического (магнитного) поля или электромагнитной волны.

Для характеристики периодических электромагнитных колебаний используют следующие параметры:

1) среднее квадратическое значение напряженности электрического поля $E_s(\vec{r})$

$$E_s(\vec{r}) = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \vec{E}^2(\vec{r},t)\,dt}, \qquad (1.5)$$

где $T$ — период колебаний;

2) среднее квадратическое значение проекции напряженности электрического поля на заданное направление

$$E_{ls}(\vec{r}) = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (\vec{E}(\vec{r},t)\vec{l})^2\,dt}, \qquad (1.6)$$

где $\vec{l}$ — единичный вектор, определяющий заданное направление;

3) средние квадратические значения напряженности магнитного поля и магнитной индукции. Они определяются аналогичным образом. Соответствующие формулы получаются в результате замены $E$ на $H$ или $B$;

4) средняя плотность потока энергии электромагнитного поля в плоской волне

$$p_s = \frac{1}{2}\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}\left(\varepsilon_0 E_s^2 + \mu_0 H_s^2\right) = \frac{E_s^2}{W_0} = W_0 H_s^2. \qquad (1.7)$$

## 1.2. Механизмы воздействия электромагнитного поля на человека

Любое вещество, в том числе и то, из которого состоит человек, является смесью частиц, имеющих положительные и отрицательные заряды. Важнейшей электромагнитной характеристикой свойств вещества является его электропроводность. В зависимости от степени электропроводности, вещества делятся на диэлектрики ($\sigma \to 0$) и проводники ($\sigma \to \infty$). В результате резкого различия диэлектриков и проводников, их поведение в электромагнитных полях оказывается неодинаковым. Однако большинство веществ по параметру электропроводности занимают промежуточное положение между идеальными диэлектриками и идеальными проводниками. Вещества типа земли и воды ведут себя, в зависимости от характеристик электромагнитного поля, то как проводники, то как диэлектрики. Если зависимость электромагнитного поля от времени является гармонической, то существует мера оценки свойств вещества на частоте $\omega$.

Если $\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} << 1$, то вещество характеризуется как диэлектрик, если $\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} >> 1$, то как проводник. Следовательно, в рассматриваемом нами диапазоне частот свойства вещества могут меняться весьма значительно. Однако имеется общая тенденция превращения вещества в диэлектрик с ростом частоты.

Исходя из того, что при отсутствии внешнего *электростатического поля* тело человека электрически нейтрально (суммарный заряд равен нулю), при его воздействии на человека можно выделить три ситуации:

1 ) тело человека находится в поле и изолировано от остальных тел. В этом случае подвижные заряженные частицы вещества расположатся как у проводника на поверхности тела, а связанные поляризуются, как у диэлектрика;
2) тело человека заземлено. Тогда подвижные заряженные частицы, определяющие проводимость тела человека, перетекут на землю и тело приобретет заряд, который можно обнаружить, изолировав тело от земли и экранировав его от электрического поля;
3) тело человека является частью электрической цепи, в которой ток проводимости (перенос заряженных частиц) вызывается сторонней напряженностью электрического поля.

Действие постоянного магнитного поля на вещество, являющееся проводником, по которому течет электрический ток (движутся заряженные частицы), связано с магнитной силой, действующей под прямым углом к направлению движения. Общее движение представляет собой движение по цилиндрической спирали.

Взаимодействие внешних электромагнитных полей с биологическими объектами осуществляется путем наведения внутренних полей и электрических токов, величина и распределение которых в теле человека зависят от целого ряда параметров, таких как размер, форма, анатомическое строение тела, электрические и магнитные свойства тканей (диэлектрическая и магнитная проницаемости и удельная проводимость), ориентация тела относительно векторов электрического и магнитного полей, а также от характеристик ЭМП (частота, интенсивность, модуляция и др.).

Согласно современным представлениям, по механизму действия ЭМП сверхнизкочастотного и низкочастотного диапазонов (вплоть до 10—30 кГц), основную опасность для организма представляет влияние наведенного электрического тока на возбудимые структуры (нервную, мышечную ткань). Параметром, определяющим степень воздействия, является плотность наведенного в теле вихревого тока. При этом, для электрических полей (ЭП) рассматриваемого диа-

пазона частот характерно слабое проникновение в тело человека, для магнитных полей (МП) — организм практически прозрачен. Плотности наведенного тока ( $j$ ) могут быть рассчитаны по формулам:

для ЭП $j = k \cdot f \cdot E$, где $f$ — частота, $E$ — напряженность ЭП, $k$ — коэффициент, отличающийся для различных тканей;

для МП — $j = \pi \cdot R \cdot \sigma \cdot f \cdot B$, где: $B$ — магнитная индукция, $\sigma$ — проводимость ткани.

Поглощение энергии ЭМП в тканях определяется главным образом двумя процессами: колебанием свободных зарядов и колебанием дипольных моментов с частотой воздействующего поля. Первый эффект приводит к возникновению токов проводимости и связанным с электрическим сопротивлением среды потерям энергии (потери ионной проводимости), тогда как второй процесс приводит к потерям энергии за счет трения дипольных молекул в вязкой среде (диэлектрические потери). На низких частотах основной вклад в поглощение энергии ЭМИ вносят потери, связанные с ионной проводимостью. Ионная проводимость возрастает с ростом частоты поля до $10^6$—$10^7$ Гц в связи с уменьшением емкостного сопротивления мембран и со все большим участием внутриклеточной среды в общей проводимости, что ведет к увеличению поглощения энергии. При дальнейшем увеличении частоты ионная проводимость среды остается практически постоянной, а поглощение энергии продолжает увеличиваться за счет потерь на вращение дипольных молекул среды, главным образом, молекул воды и белков.

Первичные механизмы действия поглощенной энергии на микромолекулярном, субклеточном, клеточном уровнях изучены слабо. Одним из проявлений взаимодействия ЭМП с веществом вообще и с биологическими структурами, в частности, является их нагрев. Однако доказано, что биологические эффекты влияния ЭМП могут проявляться не только при действии сравнительно высоких интенсивностей излучений, вызывающих общий нагрев тканей, но и при так называемых «нетепловых» уровнях, когда общего повышения температуры не наблюдается. Возможно, при любых интенсивностях воздействия поглощение энергии ЭМП в тканях приводит к тепловыделению, однако распределение тепла может иметь неравномерный характер и приводить к возникновению внутренних «горячих точек» при интенсивности ЭМИ на порядок ниже интегрального теплового порога. Имеются данные о влиянии ЭМИ на клеточные мембраны, структуру некоторых белков, электрическую активность нейронов. Отмеченные эффекты не всегда могли быть интерпретированы как чисто тепловые. То есть принципиальная возможность неоднород-

ного нагрева в мелкодисперсных биологических системах не вызывает сомнения, но вопрос о его количественной оценке остается открытым и не теряет своего значения.

В последнее десятилетие получила дальнейшее развитие информационная теория воздействия ЭМИ, основанная на концепции взаимодействия внешних полей с внутренними полями организма.

## 1.3. Гигиеническое нормирование электромагнитных полей в окружающей среде

### 1.3.1. Принципы гигиенического нормирования воздействия ЭМП в России и за рубежом

В основе гигиенических норм и правил внепроизводственных воздействий ЭМП, как и других факторов химической и физической природы, в России заложен принцип, в соответствии с которым безопасным для человека является предельно допустимый уровень (ПДУ) ЭМП. ПДУ — уровень воздействия фактора, который не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья в настоящее время или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Гигиенические нормативы ЭМП в России разрабатываются, как правило, на основании комплексных гигиенических, клинико-физиологических, эпидемиологических и экспериментальных исследований. Гигиенические исследования ставят своей целью определение интенсивностных и временных параметров ЭМП в реальных условиях; клинико-физиологические исследования направлены на выявление нарушений в состоянии здоровья и физиологических функций людей, подвергающихся такого рода воздействиям; эпидемиологические — на выявление отдаленных последствий воздействия фактора; экспериментальные — на изучение особенностей и характера биологического действия ЭМП.

Основной вклад в обоснование гигиенических нормативов ЭМП вносят экспериментальные исследования.

Безопасным для человека считается такое воздействие ЭМП, которое не вызывает нарушения гомеостаза (включая репродуктивную функцию), качественной перестройки и любых количественных изменений жизненных процессов, которые выходят за пределы физиологической нормы, соответствующей конкретным условиям жизнедеятельности.

Принятая в России методология гигиенического нормирования, базирующаяся на представлениях о наличии порога вредного действия факторов окружающей среды, была использована и при обосновании допустимых уровней ЭМП.

Порог вредного действия — это такое воздействие ЭМП, при котором в организме возникают изменения, характеризующиеся:

качественной перестройкой жизненных процессов;

любыми количественными изменениями жизненных процессов, которые выходят за пределы физиологической нормы, соответствующей конкретным условиям жизнедеятельности, и обусловливают снижение способности организма к осуществлению нормальных компенсаторных возможностей по уравновешиванию неблагоприятного действия других факторов окружающей среды или необычных психофизиологических состояний;

развитием явлений суммирования предшествующих эффектов воздействия, имеющих характер кумулятивных и приводящих при продолжительном воздействии к развитию изменений жизненных процессов, выходящих за пределы допустимых отклонений.

По-видимому, порог вредного действия ЭМП лежит на границе, разделяющей зоны активной адаптации и патологических нарушений. Однако на практике, в процессе проведения экспериментальных исследований, установление порога вредного действия встречает ряд трудноразрешимых задач, зависящих от адекватности и чувствительности используемых методов, от вида и размера тела лабораторных животных, от качества метрологического обеспечения, от квалификации экспериментатора и множества других обстоятельств.

Большую сложность представляет собой экстраполяция результатов эксперимента с животных на человека, что обусловлено в значительной мере различиями в размерах тела и связанными с этим различиями в максимумах поглощения энергии ЭМП.

Наряду с вопросами экстраполяции экспериментальных данных при переходе от порогов вредного действия к допустимым уровням важным является и установление коэффициента гигиенического запаса — для повышения надежности гигиенических нормативов.

При разработке международных нормативных документов, регламентирующих ПДУ ЭМП различных частотных диапазонов, основным источником репрезентативных данных являются опубликованные результаты различных исследований по изучению биологического действия ЭМП. При этом серьезное внимание уделяется критическому анализу имеющейся научной литературы. Согласно критериям Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP) литература для анализа (обзора, рассмотрения) должна быть опубликована в определенных научных журналах.

В европейских и международных стандартах дается краткое описание принципов нормирования. В основе нормирования, принятого в зарубежных странах, лежат следующие положения. Под действием электромагнитного поля, в котором находится человек, в его теле

возбуждается электрический ток. Полагают, что на частотах до 1 МГц этот ток оказывает непосредственное вредное воздействие на мышечные ткани, нервную систему и другие органы человека. По результатам медико-биологических исследований устанавливается предельно допустимая плотность тока в теле человека (The basic restrictions for current densities in the body). Сведения о том, как это конкретно делается, в доступной литературе отсутствуют. Полученные значения предельно допустимой плотности тока используются для расчета ПДУ параметров электромагнитного поля, которые подлежат контролю при обеспечении электромагнитной безопасности. На низких частотах (в частности, на частотах ниже 1 МГц) такими параметрами являются напряженности электрического и магнитного полей. Расчет ПДУ производится следующим образом. Решается задача о возбуждении тока в модели тела человека, помещенной во внешнее электрическое (магнитное) поле. В результате решения этой задачи находится связь между плотностью тока в теле человека и напряженностью внешнего электрического (магнитного) поля. Используя эту связь, по известному значению предельно допустимой плотности тока устанавливают предельно допустимые значения напряженности электрического (магнитного) поля. Следует особо подчеркнуть, что ПДУ устанавливаются для параметров именно внешнего электромагнитного поля, т. е. электромагнитного поля, которое существует в среде при отсутствии тела человека. Связь между ПДУ и предельно допустимой плотностью тока может быть установлена не только теоретически, но и экспериментально, если поместить манекен (фантом, модель человека), имеющий необходимые электрические параметры, во внешнее электрическое (магнитное) поле и измерять в разных точках манекена плотность тока.

На частотах выше 1 МГц полагают, что вредное воздействие на организм оказывает не непосредственно протекающий ток, а тепло, выделяемое при протекании тока в теле человека, характеристикой которого является количество энергии $dW$, выделенное в массе тела $dm$ за интервал времени $dt$. Так как приращение выделенной энергии $dW$ за интервал времени $dt$ является мощностью, то вводят понятие поглощенной удельной мощности (ПУМ) электромагнитной энергии в единице массы $dm$ (Specific Absorption Rate — SAR).

$$\text{ПУМ} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dW}{dm}\right) = \frac{dP}{dm}. \qquad (1.8)$$

ПУМ выражается в единицах ватт на килограмм (Вт/кг).

ПУМ может быть выражена через приращение температуры тела $dT$ за время $dt$, если известна его теплоемкость $c_i$.

$$\text{ПУМ} = c_i \left.\frac{dT}{dt}\right|_{t=0} \qquad (1.9)$$

Для электромагнитных величин

$$\text{ПУМ} = \frac{1}{\rho}\frac{dP}{dV} = \frac{1}{\rho}\sigma E_i^2, \qquad (1.10)$$

где $\rho$ — плотность ткани тела объема $dV$, кг/м$^3$; $E_i$ — среднее квадратическое значение напряженности электрического поля в ткани (В/м);

$\sigma$ — удельная проводимость ткани тела См/м.

По результатам медико-биологических исследований устанавливаются предельные значения ПУМ. Далее на основе установленных значений ПУМ проводят расчет ПДУ параметров внешнего электромагнитного поля. Для этого, как и в случае частот ниже 1 МГц, решается задача о возбуждении тока в модели человека, помещенной во внешнее электрическое (магнитное) поле на частотах до 10 МГц или в поле плоской волны на частотах выше 10 МГц. В результате решения этой задачи находится распределение ПУМ в модели при заданных параметрах внешнего электромагнитного поля. После этого устанавливают предельно допустимые значения напряженности внешнего электрического (магнитного) поля или параметров падающей плоской электромагнитной волны. При этом на частотах выше 10 МГц может использоваться любой из параметров плоской электромагнитной волны: напряженность электрического поля, напряженность магнитного поля, плотность потока энергии.

Однако как в рекомендациях ICNIRP, так и в нормативных документах ряда зарубежных стран устанавливаются не значения ПДУ, а лишь значения так называемых «контрольных (контролируемых) уровней» (reference levels), которые, по сути, не являются нормативными в понимании, принятом у нас в стране.

Все это относится к ПДУ, которые считаются гигиеническими, так как они устанавливаются исходя из вредного воздействия электромагнитного поля на человека. Относительно недавно появились ПДУ параметров электромагнитного поля, возбуждаемого видеодисплейными терминалами (ВДТ), которые также используются при контроле для обеспечения электромагнитной безопасности при работе с ВДТ, но устанавливаются по-другому. Такие ПДУ можно назвать техническими, и устанавливались они следующим образом. Для серии ВДТ были произведены измерения параметров электромагнитного поля, найдены средние значения этих параметров и эти средние значения либо сами, либо умноженные на коэффициент, меньший единицы, были взяты в качестве ПДУ. Как правило, получен-

ные таким образом технические ПДУ более чем на порядок меньше гигиенических ПДУ. Такой подход для нормирования параметров электромагнитного поля, возбуждаемого ВДТ, получил широкое распространение, хотя эти стандарты являются стандартами на технические параметры, а не гигиеническими.

С недавнего времени получил распространение и еще один принцип гигиенического нормирования ЭМП, в первую очередь МП промышленной частоты — предупредительный принцип (precautionary principle). Впервые предупредительный принцип в отношении МП ПЧ был сформулирован в 1996 г. в Швеции. Национальный институт защиты от излучений, Национальный совет по электробезопасности, Национальный совет по здоровью и безопасности населения, Национальный совет по здоровью и социальному обеспечению, Национальный совет по строительству и планированию разработали совместный документ ADI 478 о степени биологического действия МП ПЧ. В октябре 2001 г. он нашел отражение в информационном сообщении ВОЗ «Electromagnetic fields and public health. Extremely low frequency fields and cancer», предупреждающем о возможной канцерогенности крайне низкоинтенсивных МП ПЧ и рекомендующем всеми доступными средствами ограничивать воздействие МП ПЧ на организм человека.

### 1.3.2. Основные нормативные документы (НД) по санитарно-эпидемиологическому нормированию воздействий электромагнитных полей на население

Система НД по санитарно-эпидемиологическому нормированию внепроизводственных воздействий ЭМП включает в себя нормативы, устанавливающие предельно допустимые значения параметров электромагнитных воздействий на человека, принципы и методы контроля и обеспечения защиты. В России эта система включает в себя нормативные документы, утверждаемые Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации по рекомендации Федеральной комиссии по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Министерстве здравоохранения Российской Федерации: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН), гигиенические нормативы (ГН), предельно допустимые уровни (ПДУ), временные допустимые уровни (ВДУ). НД по электромагнитной безопасности населения приведены в списке литературы.

### 1.3.3. Санитарно-эпидемиологические нормативы для электромагнитных полей

Санитарно-эпидемиологические нормативы внепроизводственных воздействий ЭМП разработаны в нашей стране для отдельных диа-

пазонов частот: электростатического поля, электрического и магнитного полей промышленной частоты (50 Гц); электромагнитного поля радиочастотного диапазона (30 кГц — 300 ГГц). Имеются также самостоятельные гигиенические нормативы для ЭМП от отдельных видов бытового оборудования: индукционных печей с диапазоном частот 20—22 кГц; СВЧ-печей с диапазоном частот 0,3—37,5 ГГц; ПЭВМ с диапазоном частот 5 Гц — 400 кГц и электростатическим потенциалом; средств сухопутной подвижной радиосвязи, включая сотовую связь с диапазоном частот 27—2400 МГц.

### *1.3.3.1. Санитарно-эпидемиологические нормативы для электростатического поля*

Санитарно-эпидемиологическое нормирование внепроизводственных воздействий электростатических полей (ЭСП) осуществляется в соответствии с требованиями следующих нормативных документов: МСанПиН 001—96 «Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях»; СанПиН 2.1.2.1002—2000 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям»; СН 2158-80, «Санитарно-гигиенический контроль полимерных стройматериалов, предназначенных для применения в строительстве жилых и общественных зданий». Согласно этим документам ПДУ ЭСП, устанавливаемых для товаров народного потребления, строительных и отделочных материалов, составляют 15 кВ/м (табл. 1.2).

Таблица 1.2

**Гигиенические нормативы воздействия электростатических полей на население России**

| Источники ЭСП | Условия контроля | Гигиенические нормативы | Нормативный документ |
|---|---|---|---|
| Товары народного потребления (бытовые электрические приборы, радиоэлектронная аппаратура, телевизоры, игрушки, одежда, отделочные строительные материалы) | Измеряется на расстоянии 10±0,1 см от поверхности изделия | ПДУ ЭСП не должен превышать 15 кВ/м | МСанПиН 001—96 «Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях» |

*Окончание табл. 1.2*

| Источники ЭСП | Условия контроля | Гигиенические нормативы | Нормативный документ |
|---|---|---|---|
| Строительные и отделочные материалы, а также материалы, используемые для изготовления встроенной мебели в жилых помещениях | Измеряется на расстоянии 10±0,1 см от поверхности изделия (при относительной влажности воздуха 30—60 %) | ПДУ ЭСП не должен превышать 15 кВ/м | СанПиН 2.1.2.1002—2000 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям» |
| Полимерные стройматериалы | Измеряется на расстоянии 10±0,1 см от поверхности | | СН2158—80 «Санитарно-гигиенический контроль полимерных стройматериалов, предназначенных для применения в строительстве жилых и общественных зданий» |

Международной комиссией по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP) не предложено каких-либо регламентов внепроизводственных воздействий ЭСП. В то же время стандарт Европейского комитета CENELEC предлагает контролируемый уровень воздействия на население, равный 14 кВ/м, т. е. практически совпадающий с принятым в России.

### *1.3.3.2. Санитарно-эпидемиологические нормативы для электрического и магнитного полей промышленной частоты (50 Гц)*

При санитарно-эпидемиологическом нормировании внепроизводственных воздействий электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) определяется напряженность ЭП и напряженность МП (магнитная индукция).

Нормирование ЭП частотой 50 Гц осуществляется в соответствии с требованиями СНиП 2971—84 «Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты»; МСанПиН 001—96 и СанПиН 2.1.2.1002—2000.

Причем, до недавнего времени регламентировались лишь уровни ЭП частоты 50 Гц, создаваемые воздушными линиями электропередачи напряжением 330 кВ и выше. При этом установленные ПДУ дифференцировались в зависимости от возможного времени пребывания населения — от 0,5 кВ/м внутри жилых зданий и сооружений и 1 кВ/м — на территории жилой застройки и до 20 кВ/м — в труднодоступной местности (табл. 1.3).

Таблица 1.3

**Гигиенические нормативы воздействия электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) на население России**

| Вид поля | Гигиенические нормативы | Нормативный документ | Примечания |
|---|---|---|---|
| ЭП 50 Гц | ПДУ напряженности ЭП 50Гц, создаваемого воздушными линиями (ВЛ) электропередачи переменного тока, в зависимости от условий воздействия составляют:<br>0,5 кВ/м — внутри жилых зданий;<br>1 кВ/м — на территории зоны жилой застройки;<br>5 кВ/м — в населенной местности вне зоны жилой застройки (земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа, в пределах поселковой черты и сельских населенных пунктов), а также на территории огородов и садов<br>10 кВ/м — на участках пересечения ВЛ с автомобильными дорогами I—IV категорий | СНиП 2971—84 «Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты» | Измерения напряженности ЭП следует проводить на высоте 1,8 м от поверхности пола — (земли);<br>Регламентируются границы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) вдоль трассы ВЛ (территория, на которой напряженность ЭП превышает 1 кВ/м);<br>При напряженности электрического поля выше 1 кВ/м должны быть приняты меры по исключению воздействия на человека ощутимых электрических разрядов и токов стекания |

*Продолжение табл. 1.3*

| Вид поля | Гигиенические нормативы | Нормативный документ | Примечания |
|---|---|---|---|
| ЭП 50 Гц | 15 кВ/м — в ненаселенной местности (незастроенные местности, хотя и часто посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья)<br>20 кВ/м — в труднодоступной местности (недоступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально огороженных, т. е. недоступных для населения | | |
| ЭП 50 Гц | Допустимые уровни напряженности ЭП 50 Гц вне зависимости от вида источника в жилых помещениях не должны превышать 0,5 кВ/м<br><br>Допустимые уровни напряженности ЭП 50 Гц, создаваемого ВЛ электропередачи переменного тока и другими объектами на территории жилой застройки, не должны превышать 1 кВ/м | СанПиН 2.1.2.1002—2000 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям» | Измерения следует проводить на расстоянии 0,2 м от стен и окон на высоте 0,5—1,8 м от пола при полностью отключенных изделиях бытовой техники, включая устройства местного и общего освещения<br><br>Измерения следует проводить на высоте 1,8 м от поверхности земли |

*Окончание табл. 1.3*

| Вид поля | Гигиенические нормативы | Нормативный документ | Примечания |
|---|---|---|---|
| ЭП 50 Гц | Допустимые уровни напряженности ЭП 50 Гц, создаваемые товарами народного потребления, не должны превышать 0,5 кВ/м | МСанПиН 001—96 «Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях» | Измерения следует проводить на расстоянии 0,5 м от поверхности изделия |
| МП 50 Гц | Допустимые уровни индукции МП 50 Гц в жилых помещениях вне зависимости от вида источника не должны превышать 10 мкТл *<br>Допустимые уровни индукции МП 50 Гц, создаваемого ВЛ электропередачи переменного тока и другими объектами на территории жилой застройки, не должны превышать 50 мкТл* | СанПиН 2.1.2.1002—2000 | Измерения следует проводить на расстоянии от 0,2 м от стен и окон и на высоте 0,5 —1,5 м от пола при полностью отключенных изделиях бытовой техники и освещении.<br>Измерения следует проводить на высоте 1,8 м от поверхности земли |
| * Приняты в качестве временного норматива. | | | |

В МСанПиН 001—96 были установлены нормы на ЭП частоты 50 Гц, создаваемые лишь товарами народного потребления. В разработанном недавно СанПиН 2.1.2.1002—2000 устанавливаемые ПДУ распространяются на ЭП в любых типах жилых помещений и на территориях жилой застройки, составляя 0,5 и 1 кВ/м, соответственно, вне зависимости от источника ЭП.

До недавнего времени в Российской Федерации отсутствовали гигиенические нормы на МП частоты 50 Гц. В настоящее время имеется временный норматив, указанный в СанПиН 2.1.2.1002—2000.

Предложены два нормативных значения для МП: внутри жилых помещений и на территории жилой застройки, которые составляют, соответственно, 10 и 50 мкТл. В настоящее время ведется работа по созданию научно обоснованных ПДУ МП для населения.

Установленные в России ПДУ для электрических и магнитных полей промышленной частоты значительно ниже предложенных Международными рекомендациями ICNIRP значений контролируемых уровней, которые составляют 5 кВ/м и 100 мкТл (80 А/м) соответственно.

Ряд европейских (и не только европейских) государств в настоящее время придерживаются рекомендаций, предложенных ICNIRP. Это Австрия, Германия, Чехия, Австралия и Новая Зеландия, Испания, Италия и др.

В то же время в ряде стран или регионов, исходя из «предупредительного принципа», были предложены более жесткие ограничения уровней ЭП и МП ПЧ. Основанием для этого послужили полученные в последние годы данные о возможности неблагоприятного (вплоть до канцерогенного) влияния на здоровье человека слабых МП ПЧ.

Так, в Италии в провинции Венеции в 1998 г. был принят региональный закон, устанавливающий в местах проживания населения предельный уровень ЭП ПЧ 0,5 кВ/м, а МП ПЧ 0,2 мТл. 23 декабря 1999 г. Федеральный совет Швейцарии принял декрет по защите населения от неионизирующих излучений, согласно которому установлено два типа ограничения уровней ЭМП ПЧ. Как базовые приняты «контролируемые уровни» в соответствии с ICNIRP. Кроме того, принимаются более жесткие ограничения для различных типов электроустановок, включающих в себя воздушные и подземные линии электропередачи напряжением более 1 кВ, трансформаторные подстанции, распределительные подстанции, распределительные устройства, железнодорожный транспорт и трамвай. Согласно этим ограничениям предельно допустимый уровень МП ПЧ в жилых зданиях, детских учреждениях, больницах и т. д. составляет 1 мкТл.

#### *1.3.3.3. Санитарно-эпидемиологические нормативы для электромагнитного поля радиочастотного диапазона*

Основными документами, регламентирующими внепроизводственные воздействия ЭМП в диапазоне частот 30 кГц — 300 ГГц, являются СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383—03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов», МСанПиН 001-96 и СанПиН 2.1.2.1002—2000.

Дополнительно регламентируются уровни ЭМП, генерируемые отдельными источниками:

индукционными печами — в диапазоне 20—22 кГц (в соответствии с СН 2550—82 «Предельно допустимые нормы напряженности электромагнитного поля, создаваемого индукционными бытовыми печами, работающими на частоте 20—22 кГц»;

СВЧ-печами — в диапазоне частот 0,3—37,7 ГГц (в соответствии с СН 2666—83 «Предельно допустимые уровни плотности потока энергии, создаваемой микроволновыми печами»);

персональными ЭВМ — в диапазоне частот 5 Гц-400 кГц ( в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»);

средствами сухопутной подвижной радиосвязи в диапазоне частот 27—2400 МГц (в соответствии с СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190—03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи»).

Согласно требованиям СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383—03 устанавливаются ПДУ напряженности электрического поля для диапазона частот 30 кГц — 300 МГц и ПДУ плотности потока энергии (ППЭ) для диапазона частот 300 МГц — 300 ГГц. ПДУ различаются для разных частотных диапазонов и составляют: 25 В/м — для диапазона 30 кГц — 300 кГц; 15 В/м — для диапазона 0,3—3,0 МГц; 10 В/м — для диапазона 3—30 МГц, 3 В/м — для диапазона 30—300 МГц и 10 мкВт/см$^2$ — для диапазона 300 МГц — 300 ГГц (табл. 1.4). В диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц для случаев облучения от антенн, работающих в режиме кругового обзора и сканирования, ПДУ составляет 25 мкВт/см$^2$. Дополнительно СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383—03 и СанПиН 2.1.2.1002—2000 устанавливают нормы на интенсивности ЭМП, создаваемых радиолокационными станциями специального назначения; принципы определения ПДУ при облучении от нескольких источников ЭМП; требования к источникам ЭМП радиочастотного диапазона и требования к размещению передающих радиотехнических объектов (условия согласования, определения границ санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки).

Национальные стандарты зарубежных стран и международные рекомендации устанавливают в одних случаях единые значения ПДУ для персонала и населения (например, Германия), в других — дифференцированные (Канада, Великобритания, ICNIRP). Дифференцируемый подход применяется и для контролируемых уровней ЭМП (США, Австралия, CENELEC).

В международных рекомендациях ICNIRP и CENELEC, а также в разработанных недавно гигиенических нормах в Польше регламентированы максимальные уровни ЭМП.

Таблица 1.4

**Гигиенические нормативы воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) на население России**

| Вид поля, диапазон частот | Гигиенические нормативы | Нормативный документ | Примечания |
|---|---|---|---|
| Электрическое и магнитное поле 20 кГц — 22 кГц | $E_{ПДУ}$ = 500 В/м<br>$H_{ПДУ}$ = 4 А/м | СН 2550—82 | Измерения следует проводить на расстоянии 0,3 м от корпуса печи |
| Электрическое поле 30 кГц— 300 МГц<br>Электромагнитное поле ≥ 0,3—300 ГГц | Допустимые уровни ЭМП, создаваемые товарами народного потребления, в зависимости от диапазона частот составляют:<br>30—300 кГц — 25 В/м;<br>0,3—3 МГц — 15 В/м;<br>3—30 МГц — 10 В/м;<br>30—300 МГц — 3 В/м<br>0,3—300 ГГц — 10 мкВт/см$^2$;<br>0,3—37,5 ГГц — 10 мкВт/см$^2$ | МСанПиН 001—96, СН 2666—83 | Измерения следует проводить на расстоянии 0,5 м от поверхности изделия<br>Измерения следует проводить на расстоянии 0,50±0,05 м от поверхности печи при нагрузке 1 л воды |
| Электрическое поле 30 кГц— 300 МГц<br>Электромагнитное поле 0,3—300 ГГц | Предельно допустимые уровни ЭМП, создаваемые на территории жилой застройки и мест массового отдыха, в помещениях жилых, общественных и производственных зданий (внешнее излучение, вторичное излучение) в зависимости от диапазона частот составляют: | СанПиН 2.1.8/ 2.2.4.1383—03<br>СанПиН 2.1.2.1002—2000 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям» | В жилых и общественных зданиях измерения уровней ЭМП от внешних источников и источников вторичного излучения следует проводить в центре помещений, у окон, батарей отопления и других металлических изделий, на балконах и др. при полностью |

*Окончание табл. 1.4*

| Вид поля, диапазон частот | Гигиенические нормативы | Нормативный документ | Примечания |
|---|---|---|---|
| Электрическое поле 30 кГц—300 МГц Электромагнитное поле 0,3—300 ГГц | 30—300 кГц — 25 В/м<br>0,3—3 МГц — 15 В/м<br>3—30 МГц — 10 В/м<br>30—300 МГц — 3 В/м для всех случаев облучения, кроме облучения от антенн РЛС специального назначения, работающих в диапазоне частот 150—300 МГц в режиме электронного сканирования луча, для которого ПДУ ЭМП на территории населенных мест, расположенных от источника в ближней зоне составляет 6 В/м, в дальней зоне – 19 В/м.<br>0,3—300 ГГц—10 мкВт/см$^2$ для всех случаев облучения кроме облучения от антенн, работающих в режиме кругового обзора и сканирования, для которого ПДУ — 25 мкВт/см$^2$ | СанПиН 2.1.8/ 2.2.4.1383—03<br>СанПиН 2.1.2.1002—00 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям» | отключенных изделиях бытовой техники, создающей ЭМИ РЧ, на высоте от поверхности пола 0,5, 1 и 1,7 м.<br>На открытой территории измерения следует проиводить на высоте 2 м от поверхности земли, далее — 3, 6, 9 м и т. д. в зависимости от этажности застройки;<br>Гигиеническая оценка результатов измерений при одновременном облучении от нескольких источников ЭМИ РЧ должна проводиться с учетом условий, изложенных в СанПиН 2.1.8/ 2.2.4.1383—03 |

Как уже отмечалось ранее, в рекомендациях ICNIRP указываются не собственно ПДУ, а «основные ограничения» и «контролируемые уровни» (табл. 1.5). Причем «основные ограничения» уровней воздействия ЭМП на население определяются простым пересчетом из соответствующих величин для условий производственных воздействий с дополнительным коэффициентом гигиенического запаса, равным 5, а «контролируемые уровни» пересчитываются из этих значений, составляя в итоге величины в 2—5 раз меньшие, чем для условий производственных воздействий. Нормативы ICNIRP не относятся ни к стандартам, регламентирующим выпуск продукции, ни к руководствам по медицинскому оборудованию, ни к докумен-

там, устанавливающим требования к измерительной технике для определения контролируемых уровней или защитным мероприятиям.

Таблица 1.5

**Контролируемые уровни производственных воздействий переменных электрических и магнитных полей (средние квадратические значения внешнего поля)**

| Диапазон частот, $f$ | Напряженность электрического поля $E$, В/м | Напряженность магнитного поля $H$, А/м | Магнитная индукция $B$, мкТл | Эквивалентная плотность потока энергии $S_{эк}$ Вт/м$^2$ |
|---|---|---|---|---|
| До 1 Гц | — | $3{,}2 \cdot 10^4$ | $4 \cdot 10^4$ | — |
| 1—8 Гц | 10000 | $3{,}2 \cdot 10^4/f$ | $4 \cdot 10^4/f$ | — |
| 8—25 Гц | 10000 | $4000/f$ | $5000/f$ | — |
| 0,025—0,8 кГц | $250/f$ | $4/f$ | $5/f$ | — |
| 0,8—3 кГц | $250/f$ | 5 | 6,25 | — |
| 3—150 кГц | 87 | 5 | 6,25 | — |
| 0,15—1 МГц | 87 | $0{,}73/f$ | $0{,}92/f$ | — |
| 1—10 МГц | $87/f$ | $0{,}73/f$ | $0{,}92/f$ | — |
| 10—400 МГц | 28 | 0,0037 | 0,092 | 2 |
| 400—2000 МГц | $1{,}375f$ | $0{,}0037f$ | $0{,}0046f$ | $f$ / 200 |
| 2—300 ГГц | 61 | 0,16 | 0,20 | 10 |

Как уже упоминалось выше, в России устанавливаются требования к параметрам ЭМП, создаваемых ВДТ, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03 (табл. 1.6).

Таблица 1.6

**Контролируемые уровни воздействия электромагнитных полей, создаваемых видеодисплейными терминалами и персональными электронно-вычислительными машинами**

| Параметры ЭМП | Контролируемые уровни (ВДУ) | Нормативный документ |
|---|---|---|
| Напряженность электрического поля в диапазоне частот 5 Гц — 2 кГц | 25 В/м | СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» |
| Напряженность электрического поля в диапазоне частот 2—400 кГц | 2,5 В/м | |
| Плотность магнитного потока в диапазоне частот 5 Гц — 2 кГц | 250 нТл | |
| Плотность магнитного потока в диапазоне частот 2—400 кГц | 25 нТл | |
| Поверхностный электростатический потенциал при санитарно-эпидемиологической экспертизе | 500 В | |
| Напряженность электрического поля на рабочих местах | 15 кВ/м | |

Согласно требованиям СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190—03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи» гигиеническое нормирование уровней ЭМП, создаваемых базовыми станциями и радиотелефонами осуществляется в диапазоне частот 27—2400 МГц. ПДУ воздействия на население ЭМП от базовых станций не отличается от значений, указанных в СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383—03 (табл. 1.7).

Таблица 1.7

**Гигиенические нормативы воздействия электромагнитных полей, создаваемых средствами сухопутной подвижной радиосвязи, на население России**

| Диапазон частот | Гигиенические нормативы | | Нормативный документ |
|---|---|---|---|
| | Облучение от антенн базовых станций населения, проживающего на прилегающей селитебной территории | Облучение пользователей радиотелефонов | |
| 400—1200 МГц | 10 мкВт/см$^2$ | 100 мкВт/см$^2$ | МСанПиН 001—96 «Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях» |
| 27—30 МГц | 10 В/м | 45 В/м* | СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190—03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи» |
| 30—300 МГц | 3 В/м | 15 В/м* | |
| 300—2400 МГц | 10 мкВт/см$^2$ | 100 мкВт/см$^2$* | |

* Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия на человека ЭМП, создаваемых подвижными станциями сухопутной радиосвязи непосредственно у головы пользователя.

В европейском стандарте ENV 50166—2 ограничение уровней ЭМП от мобильных телефонов основано на концепции определения удельной поглощенной мощности в антропоморфном фантоме головы человека. ПДУ устанавливаются дифференцированно в зависимости от частоты, исходя из величины ПУМ, равной 2 Вт/кг, по величи-

нам напряженности электрического и магнитного полей и ППЭ. Вследствие этого, ПДУ на частоте 450 МГц равен 225 мкВт/см$^2$ (29,2 В/м и 0,08 А/м); на частоте 900 МГц — 450 мкВт/см$^2$ (45,0 В/м и 0,11 А/м) и на частоте 1800 МГц — 900 мкВт/см$^2$ (60,0 В/м и 0,15 А/м) соответственно. ПУМ для массы 10 г усредняется в течение шести минут.

## 1.4. Контроль уровней электромагнитных полей

### 1.4.1. Требования к проведению контроля уровней

Для контроля уровней ЭМП, создаваемых различными источниками, используются расчетные и инструментальные методы.

Расчетные методы применяются преимущественно при проектировании новых или реконструкции действующих объектов. Для действующих источников контроль уровней ЭМП осуществляется с помощью инструментальных измерений.

Разработан ряд методических указаний, позволяющих регламентировать процедуру контроля уровней ЭМП, создаваемых различными источниками. Однако, эти документы не охватывают все необходимые случаи определения степени воздействия ЭМП различных частотных диапазонов на население.

«Методические указания по определению электромагнитного поля воздушных высоковольтных линий электропередачи и гигиенические требования к их размещению» № 4109—86 определяют как размеры санитарно-защитных зон воздушных линий электропередачи напряжением 330, 500, 750 и 1150 кВ, так и рекомендации по проведению инструментальных измерений в пределах санитарно-защитной зоны. Для контроля уровней ЭП частоты 50 Гц, создаваемых другими источниками, методические указания не разработаны. Имеются лишь отдельные рекомендации по принципам контроля в соответствующих нормативных документах. Однако, приведенные в СанПиН 2.1.2.1002—2000 принципы контроля уровней ЭП и МП частоты 50 Гц в местах проживания населения и в зоне жилой застройки представлены не корректно, вследствие чего в ближайшее время этот документ должен быть пересмотрен.

Для контроля уровней ЭМП радиочастотного диапазона от индукционных печей в диапазоне 20—22 кГц в СН 2550—82 указаны расстояния контроля 30 см.

Для контроля уровней ЭМП от СВЧ-печей в диапазоне 0,3—37,5 ГГц в СН 2666—83 указаны расстояния контроля 50 ± 5 см.

В СанПиН 2.1.8./2.2.4.1383—03 содержатся общие принципы контроля уровней ЭМП радиочастотного диапазона. Для обеспечения частных требований по контролю уровней ЭМП от определенных источников разработана серия методических указаний (МУК). ПДУ в них определяются методом расчета.

МУК 4.3.044—96 «Определение уровней электромагнитного поля, границ санитарно-защитной зоны и зон ограничения застройки в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто- и декаметрового диапазонов»;

МУК 4.3.1677—03 «Определение уровней электромагнитного поля, создаваемого излучающими техническими средствами телевидения, ЧМ радиовещания и базовых станций сухопутной подвижной радиосвязи»;

МУК 4.3.678—97 «Определение уровней напряжений, наведенных электромагнитными полями на проводящие элементы зданий и сооружений в зоне действия мощных источников радиоизлучений»;

МУК 4.3.679—97 «Определение уровней магнитного поля в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто- и декаметрового диапазонов»;

МУК 4.3.1676—03 «Гигиеническая оценка электромагнитных полей, создаваемых радиостанциями сухопутной подвижной связи, включая абонентские терминалы спутниковой связи».

Расчетные методы чаще всего находят применение при определении границ санитарно-защитных зон, зон ограничения застройки радиопередающих объектов, что является важным для составления санитарно-эпидемиологического заключения на объект.

Контроль уровней ЭМП в целях обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, предотвращения поступления на потребительский рынок страны опасной для человека продукции (согласно Приказу Министерства здравоохранения Российской Федерации № 325 от 15.08.2001 г.) предусматривает также обязательную санитарно-эпидемиологическую экспертизу продукции, являющейся источником ЭМП.

### 1.4.2. Методы и приборы измерений характеристик электромагнитного поля

#### *1.4.2.1. Напряженность электрического поля*

Наиболее распространенным методом измерения параметров электрического поля является метод, в основе которого лежит свойство проводящего тела, помещенного в электрическое поле. Если помес-

тить в электрическое поле незаряженное проводящее тело, то под действием электрического поля произойдет перераспределение электрических зарядов в теле и на его поверхности таким образом, что напряженность электрического поля в теле и касательная составляющая напряженности на его поверхности обратятся в нуль. При этом, кроме внешнего (падающего) поля, которое существовало в пространстве до внесения в него проводящего тела, появится электрическое поле, возбуждаемое зарядами на теле (рассеянное электрическое поле). Именно напряженность полного (суммарного, т. е. равного сумме внешнего и рассеянного) электрического поля в теле и касательная составляющая на поверхности должны равняться нулю. Равенство нулю касательной составляющей напряженности суммарного электрического поля на поверхности тела и напряженности суммарного электрического поля в теле означает, что потенциал суммарного электрического поля во всех точках тела одинаков. Этот потенциал называется потенциалом проводящего тела. Он равен потенциалу внешнего электрического поля в некоторой точке проводящего тела. Если проводящее тело находится в однородном электрическом поле, то эта точка совпадает с центром электрических зарядов тела (понятие центра электрических зарядов аналогично понятию центра масс в механике). Положение центра электрических зарядов зависит только от формы тела, и для тел, имеющих центр симметрии (шар, куб, цилиндр), совпадает с центром симметрии. Это значит, что потенциал проводящего шара (куба, цилиндра), помещенного в однородное электрическое поле, равен потенциалу внешнего электрического поля в центре шара (куба, цилиндра).

Если в однородное электрическое поле поместить два проводящих тела, то возникнет разность потенциалов, равная разности потенциалов внешнего электрического поля между центрами электрических зарядов тел. Эта разность потенциалов $U$ связана с модулем напряженности внешнего электрического поля $E_0$ соотношением

$$U = LE_0 \cos\theta, \qquad (1\ 11)$$

где $L$ — расстояние между центрами электрических зарядов, $\theta$ — угол между вектором напряженности внешнего электрического поля и прямой, соединяющей центры электрических зарядов Приведенное соотношение лежит в основе измерения напряженности электрического поля, так как связывает разность потенциалов $U$ между двумя проводящими телами, которая может быть измерена, с модулем напряженности внешнего электрического поля. Все сказанное

выше относится как к постоянному, так и переменному электрическим полям при условии, что в случае переменного электрического поля размеры системы, состоящей из проводящих тел, малы по сравнению с длиной волны.

### *Модуль напряженности постоянного электрического (электростатического) поля*

Формально для измерения модуля напряженности постоянного электрического поля можно использовать описанный выше принцип и использовать соотношение (1.12), измеряя вольтметром постоянного тока с большим входным сопротивлением напряжение $U$ между проводящими телами, образующими первичный преобразователь. Однако из-за конечного входного сопротивления вольтметра между проводящими телами будет протекать ток. В результате протекания тока тела будут заряжаться, а разность потенциалов между телами будет уменьшаться. При этом показания вольтметра будут меняться. Формула применима при бесконечно большом входном сопротивлении вольтметра. Чтобы избежать этого, первичный преобразователь приводят во вращение, тем самым, изменяя во времени угол θ. Если угловая скорость вращения первичного преобразователя ω, то получаем

$$U = LE_0 \cos\omega t. \qquad (1.12)$$

Таким образом, на выходе первичного преобразователя (между проводящими телами) будет действовать переменное напряжение, амплитуда которого пропорциональна модулю напряженности внешнего электростатического поля. Измерение $U$ позволяет найти модуль напряженности внешнего электростатического поля.

Существуют различные варианты описанного метода измерения модуля напряженности электростатического поля. Например, можно вращать первичный преобразователь вокруг его центра симметрии, а можно использовать несимметричный преобразователь, оставляя при вращении одно из проводящих тел неподвижным. Наконец, можно оставить оба тела неподвижными, а вращать дополнительное третье тело, которое периодически экранирует первичный преобразователь.

### *Среднее квадратическое значение напряженности переменного электрического поля*

При измерении напряженности переменного электрического поля в качестве первичного преобразователя, как правило, используется дипольная антенна, размеры которой малы по сравнению с длиной волны. Дипольная антенна состоит из двух одинаковых, симметрич-

но расположенных и изолированных друг от друга металлических тел. Это могут быть, например, два соосных цилиндра (цилиндрическая антенна), два соосных конуса, обращенных вершинами друг к другу (биконическая антенна), две тонкие металлические полоски на диэлектрическом основании, две параллельные пластины (конденсаторная антенна) и т. д. Дипольная антенна имеет ось симметрии, например, общую ось цилиндров у цилиндрической антенны или общую ось конусов у биконической антенны. Эта ось называется осью дипольной антенны.

Если поместить дипольную антенну в однородное электрическое поле, то между элементами, образующими дипольную антенну (цилиндрами, конусами и т. д.), возникнет переменное напряжение, мгновенное значение которого будет пропорционально проекции мгновенного значения напряженности электрического поля на ось дипольной антенны. Измерение среднего квадратического значения этого напряжения даст величину, пропорциональную среднему квадратическому значению проекции напряженности электрического поля на ось дипольной антенны. Здесь речь идет о внешнем электрическом поле, т. е. об электрическом поле, которое существовало в пространстве, до внесения в него дипольной антенны. Таким образом, основными элементами измерителя электрического поля (измерителя среднего квадратического значения напряженности переменного электрического поля) являются дипольная антенна и средний квадратический вольтметр.

### *1.4.2.2. Напряженность (индукция) магнитного поля*

#### *Модуль напряженности постоянного магнитного поля*

Существует несколько типов измерительных преобразователей постоянного магнитного поля, основанных на различных физических явлениях. Однако, в диапазоне значений напряженности магнитного поля, принятом для измерения на соответствие санитарным нормам, обычно используются преобразователи, основанные на эффекте Холла. Их широкое распространение связано отчасти с тем, что они используются не только для измерения постоянного магнитного поля, но и позволяют измерять низкочастотное переменное поле.

Эффект Холла относится к гальваномагнитным явлениям, под которыми понимают ряд вторичных эффектов, возникающих при помещении проводника или полупроводника с током в магнитное поле. К ним относятся: возникновение разности потенциалов (эдс.),

изменение электрического сопротивления проводника, возникновение разности температур.

Эффект Холла проявляется, если к паре противоположных граней прямоугольной пластины из полупроводника приложить напряжение, вызывающее постоянный ток. Под действием вектора индукции, перпендикулярного пластине, на движущиеся носители заряда будет действовать сила, перпендикулярная вектору плотности постоянного тока. Следствием этого будет возникновение разности потенциалов между другой парой граней пластины. Эту разность потенциалов называют эдс. Холла. Ее величина пропорциональна составляющей вектора магнитной индукции, перпендикулярной пластине, толщине пластины и постоянной Холла, которая является характеристикой полупроводника. Таким образом, зная коэффициент пропорциональности между эдс. и магнитной индукцией и измеряя эдс., определяют значение магнитной индукции.

***Среднее квадратическое значение напряженности переменного магнитного поля***

В качестве первичного преобразователя используется рамочная антенна, размеры которой малы по сравнению с длиной волны. Под действием переменного магнитного поля на выходе рамочной антенны возникает переменное напряжение, мгновенное значение которого пропорционально проекции мгновенного значения напряженности магнитного поля на ось, перпендикулярную плоскости рамочной антенны и проходящую через ее центр. Измерение среднего квадратического значения этого напряжения дает величину, пропорциональную среднему квадратическому значению проекции напряженности магнитного поля на ось рамочной антенны.

### *1.4.2.3. Плотность потока энергии электромагнитного поля*

На частотах до нескольких десятков гигогерц плотность потока энергии измеряется в уже сформировавшейся электромагнитной волне, структура которой близка к структуре плоской волны. В этом случае плотность потока энергии связана с напряженностью электрического или магнитного поля. Поэтому для измерения плотности потока энергии используются фактически измерители среднего квадратического значения напряженности электрического или магнитного полей, которые отградуированы в единицах плотности потока энергии электромагнитного поля.

Перечень рабочих средств измерений, применяемых для контроля параметров электромагнитного поля, приведен в табл. 1.8.

Таблица 1.8

**Рабочие средства измерений, применяемые для контроля параметров электромагнитного поля**

| Наименование средства измерении, тип | Изготовитель | Частотныи диапазон | Измеряемая величина, единица измерения | Диапазон измерения | Пределы основнои погрешности измерения | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Измерители напряженности поля. П3—15 | Завод РИАП, Нижний Новгород | 0,1—300 МГц | НЭП, В/м | 1—3000 | ±3 дБ | |
| | | 0,01—30 МГц | НМП, А/м | 0,5—500 | ±3 дБ | |
| П3—21 | | 0,01—300 МГц | НЭП, В/м | 1—1000 | ±3 дБ | |
| | | 0,01—30 МГц | НМП, А/м | 0,5—16 | ±3 дБ | |
| П3—25 | | 0,02—20 кГц | НЭП, В/м | 50—12000 | ±20 % | |
| П3—26 | | 0,02—20 кГц | НЭП, В/м | 100—12000 | ±20 % | |
| Измерители ППЭ ЭМП: П3—18 | Завод РИАП, Нижний Новгород | 0,3—39,65 ГГц | ППЭ, мкВт/см$^2$ | (0,32—10) — — (3,2—10)10$^3$ | ±2 дБ | |
| П3—18А | | 0,3—40 ГГц | ППЭ, мкВт/см$^2$ | (0,9—10) — — (3,2—10)10$^3$ | ±2 дБ | |
| П3—19 | | 0,3—39,65 ГГц | ППЭ, мкВт/см$^2$ | (0,32—20) — — (20—100)10$^3$ | ±2 дБ | |
| П3—20 | | 0,3—39,65 ГГц | ППЭ, мкВт/см$^2$ | (0,32—10) — — (20—100)10$^3$ | ±2 дБ | Измеряет экспозицию |

*Продолжение табл 1 8*

| Наименование средства измерении, тип | Изготовитель | Частотныи диапазон | Измеряемая величина, единица измерения | Диапазон измерения | Пределы основнои погрешности измерения | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|
| П3—24 | | 37,5—178,4 ГГц | ППЭ, мкВт/см$^2$ | 10—1 · 10$^4$ | ±2,5 дБ | С датчиком ИП-1 |
| | | | | 30—3 · 10$^4$ | ±2,5 дБ | С датчиком ИП-2 |
| П3—30 | | 0,3—40 ГГц | ППЭ, мкВт/см$^2$ (НЭП, В/м) | 0,265—10$^5$ (1—615) | ±3,2 дБ | Измеряет экспозицию |
| Измеритель напряженности ближнего поля НФМ 1 | VEB «FUNK-MECHANIK», Германия | 50 Гц | НЭП, кВ/м | 2—40 | ±20 % | |
| | | 0,06—350 МГц | НЭП, В/м | 2—1500 | ±20 % | |
| | | 0,1—10 МГц | НМП, А/м | 1—10 | ±20 % | |
| Измеритель напряженности поля малогабаритный ИПМ-101 | НПП «КАДР», Москва | 0,03—1200 МГц, 2,45 ГГц | НЭП, В/м (ППЭ, мкВт/см$^2$) | 1—100 (0,265—2650) | ±20 % | В составе с антенной Е01 |
| | | 0,03—1200 МГц, 2,45 ГГц | НЭП, В/м (ППЭ, мкВт/см$^2$) | 5—500 (6,6—66000) | ±20 % | В составе с антенной Е02 |
| | | 0,03—3 МГц | НМП, А/м | 0,5—50 | ±22 % | В составе с антеннои Н01 |
| | | 1—50 МГц | НМП, А/м | 0,1—10 | ±22 % | В составе с антенной Н02 |

*Продолжение табл. 1.8*

| Наименование средства измерения, тип | Изготовитель | Частотный диапазон | Измеряемая величина, единица измерения | Диапазон измерения | Пределы основной погрешности измерения | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Измеритель напряженности поля малогабаритный микропроцессорный ИПМ-101М | НПП «Доза», п. Менделеево Московской обл. | 0,03—1200 МГц, 2,45 ГГц | НЭП, В/м (ППЭ, мкВт/см$^2$) | 1—100 (0,265—2650) | ±20 % | В составе с антенной Е01 |
| | | 0,03—1200 МГц, 2,45 ГГц | НЭП, В/м (ППЭ, мкВт/см$^2$) | 5—500 (6,6—66000) | ±20 % | В составе с антенной Е02 |
| | | 0,03—3 МГц | НМП, А/м | 0,5—50 | ±22 % | В составе с антенной Н01 |
| | | 1—50 МГц | НМП, А/м | 0,1—10 | ±22 % | В составе с антенной Н02 |
| Измеритель напряженности поля промышленной частоты П3—50 | АОЗТ «ТАНО», Москва | 48—52 Гц | НЭП, кВ/м | 0,01—100 | ±15 % | |
| | | 48—52 Гц | НМП, А/м | 0,1—1800 | ±15 % | |
| Измеритель напряженности электростатического поля П3—27 | СКБ РИАП, Нижний Новгород | Постоянное поле | НЭП, кВ/м | 0,3—180 | ±15 % | |
| Измеритель напряженности электростатического поля ЭСПИ-301 | ЗАО «ЭЛВЕС», п. Менделеево Московской обл. | Постоянное поле | НЭП, кВ/м | 0,3—180 | ±15 % | |

*Продолжение табл. 1.8*

| Наименование средства измерения, тип | Изготовитель | Частотный диапазон | Измеряемая величина, единица измерения | Диапазон измерения | Пределы основной погрешности измерения | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Измеритель напряженности электростатического поля СТ-01 | ООО «НТМ-Защита», Москва | Постоянное поле | НЭП, кВ/м | 0,3—180 | ±15 % | |
| Измеритель напряженности электростатического поля ИЭСП-01 | ГУП «Циклон-Прибор», Фрязино | Постоянное поле | НЭП, кВ/м | 1—180 | ±10 % | |
| Измеритель электромагнитных излучений видеодисплейных терминалов П3-28 | СКБ РИАП, Нижний Новгород | 5—2000 Гц | НЭП, В/м | 1—100 | ±20 % | |
| | | 2—400 кГц | НЭП, В/м | 1—100 | ±20 % | |
| | | 5—2000 Гц | НМП, А/м | 0,01—5 | ±20 % | |
| | | 2—400 кГц | НМП, мА/м | 10—800 | ±20 % | |
| Измеритель переменных электрических полей ИЭП-05 | ГУП «Циклон-Прибор», Фрязино | 5—2000 Гц | НЭП, В/м | 10—200 | ±20 % | |
| | | 2—400 кГц | НЭП, В/м | 1—20 | ±20 % | |
| Измеритель переменных магнитных полей ИМП-05 | ГУП «Циклон-Прибор», Фрязино | 5—2000 Гц | МИ, нТл | 100—2000 | ±20 % | |
| | | 2—400 кГц | МИ, нТл | 10—200 | ±20 % | |
| Измеритель переменного электрического поля ИЭП-04 | ГУП «Циклон-Прибор», Фрязино | 5—2000 Гц | НЭП, В/м | 7—1000 | ±10 % | |
| | | 2—400 кГц | НЭП, В/м | 0,7—100 | ±10 % | |

*Окончание табл. 1.8*

| Наименование средства измерения, тип | Изготовитель | Частотный диапазон | Измеряемая величина, единица измерения | Диапазон измерения | Пределы основной погрешности измерения | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Измеритель переменного магнитного поля ИМП-04 | ГУП «Циклон-Прибор», Фрязино | 5—2000 Гц | МИ, нТл | 200—5000 | ±10 % | |
| | | 2—400 кГц | МИ, нТл | 10—1000 | ±10 % | |
| Измеритель параметров электрического и магнитного полей ВЕМЕТР-АТ-002 | ООО «НТМ-Защита», Москва | 5—2000 Гц | НЭП, В/м | 8—100 | ±20 % | |
| | | 2—400 кГц | НЭП, В/м | 0,8—10 | ±20 % | |
| | | 5—2000 Гц | МИ, мкТл | 0,08—1 | ±20 % | |
| | | 2—400 кГц | МИ, нТл | 8—100 | ±20 % | |
| Микротесламетр: Г703 | Завод «Микропровод», Кишинев | 20—50 Гц (20Гц—200кГц) | МИ, Тл | $1 \cdot 10^{8}$—$1 \cdot 10^{-3}$ | ±5 % | |
| Г-79 | | 0,02—20 кГц | МИ, мкТл | 0,1 — 1000 | ±5 % | |
| Ф-4356 | | 45—55 Гц (до 1000 Гц) | МИ, мТл | 0,1 — 100 | ±(4—6) % | |
| Миллитесламетр ТП2-2У | ВИИФТРИ, МЦРМИ, п. Менделеево Московской обл. | Постоянное поле | МИ, мТл | 0,1—1900 | ±2,0 % | |
| | | 20—10000 Гц | МИ, мТл | 0,1—1900 | ±2,5 % | |
| Миллитесламетр МПМ-2 | ВИИФТРИ, МЦРМИ, п. Менделеево Московской обл. | Постоянное поле | МИ, мТл | 0,1—190,0 | ±2,5 % | |
| | | 40—200 Гц | МИ, мТл | 0,1—190,0 | ±5,0 % | |

### 1.4.3. Особенности контроля уровней ЭМП, создаваемых системами сотовой связи

Как уже указывалось выше, одним из сложных вопросов обеспечения электромагнитной безопасности населения на современном этапе является контроль уровней ЭМП, создаваемых системами сотовой связи.

#### *1.4.3.1. Физические основы функционирования систем сотовой связи*

Идея сотовых сетей, принадлежащая компании Bell System привела в конце 40-х годов к созданию новой модели подвижной радиосвязи. Вместо использовавшейся ранее «радиовещательной модели» с передатчиком большой мощности, расположенным на возвышении и передающим радиосигналы в зоне большой площади, новая модель требовала множества менее мощных передатчиков, причем каждый из них специально предназначался для обслуживания только небольшой зоны, названной сотой (cell). Например, большой город с единственным мощным передатчиком, мог быть разделен на множество небольших сот, каждая из которых оборудована одним маломощным передатчиком (рис. 1.5).

Весьма важными особенностями «сотовой архитектуры», с точки зрения электромагнитной безопасности населения, является использование передатчиков небольшой мощности. В этом главное отличие сотовой радиосвязи от традиционной.

В соответствии с международными рекомендациями, касающимися использования подвижной связи в диапазоне частот 862—960 МГц, стандарты GSM на цифровую глобальную сотовую систему наземной подвижной связи предусматривают работу передатчиков мобильных подвижных станций (радиотелефонов) в двух диапазонах частот: 890—915 МГц, и 935—960 МГц (для передатчиков базовых станций). В настоящее время в стадии освоения находится диапазон частот от 1710 до 1880 МГц.

Физическая связь между мобильной (МС) и базовой (БС) станциями осуществляется путем приема и передачи радиочастотного пакета, форма маски сигнала огибающей которого (допустимых пределов по амплитуде и временному интервалу) приведена на рис. 1.6, а.

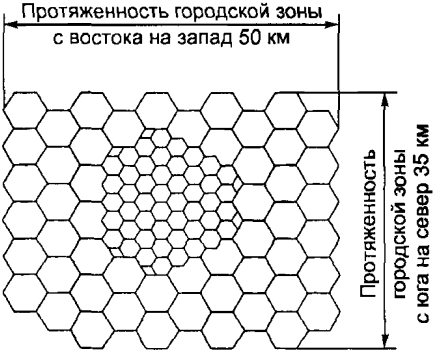
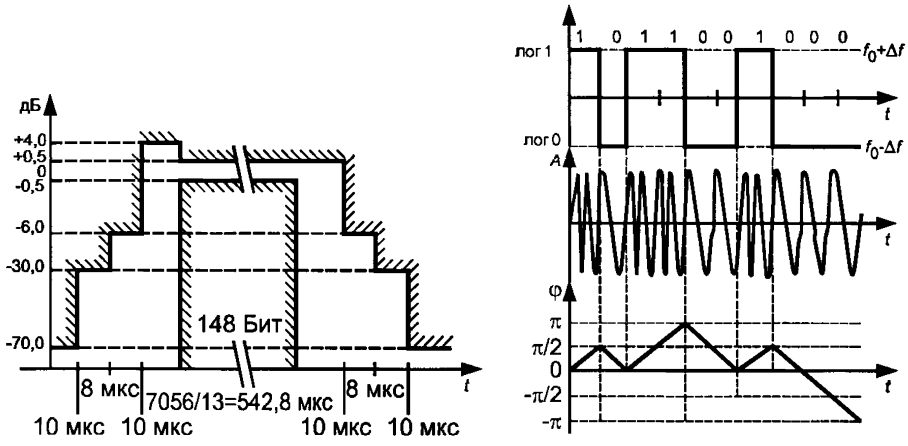



**Рис. 1.5. Схема сотовой связи в городской зоне**




а **Рис. 1.6:** б

а — маска огибающей радиочастотного пакета;
б — информационная часть радиочастотного пакета

Информационная часть радиочастотного пакета сосредоточена в области плоской части маски, находящейся между значениями минус 0,5 и 0 дБ. Передача информации осуществляется путем частотной модуляции несущей радиочастотного пакета, соответствующей цифровому сигналу (рис. 1.6, б).

Передатчики МС и БС характеризуются выходной мощностью, которая подается на антенну. Так как в сотовых системах связи используются одни и те же типы антенн, мощность на входе антенны однозначно связана с напряженностью электрического поля или плотностью потока энергии электромагнитного поля в дальней зоне. Поэтому мощность передатчика является параметром электромагнитной безопасности, использующимся в стандартах сотовой системы связи.

Термин выходная мощность в стандартах GSM относится к мощности, которая усредняется по информационной части радиочастотного пакета.

Термин пиковая мощность (ПМ) относится к максимальной мощности сигнала за время, достаточное для захвата сигнала и его измерения.

Термин выходная мощность крайне неудачен, так как не соответствует своему определению, что приводит к путанице. По существу, это среднее значение пиковой мощности за время длительности информационной части радиочастотного пакета. Поэтому далее он заменен термином средняя пиковая мощность (СПМ).

Классы мощности и соответствующие им значения СПМ приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

**Классы мощности и соответствующие им значения средней пиковой мощности**

| Класс мощности | МС, Вт (дБ отн. 1мВт) | БС, Вт |
|---|---|---|
| 1 | 20 (43) | 320 |
| 2 | 7,8 (39) | 160 |
| 3 | 5,0 (37) | 80 |
| 4 | 2,0 (33) | 40 |
| 5 | 0,8 (29) | 20 |
| 6 | | 10 |
| 7 | | 5,0 |
| 8 | | 2,5 |

### *1.4.3.2. Определение параметров электромагнитной безопасности базовых станций*

При эксплуатационных испытаниях базовых станций (БС) контролируют следующие параметры: среднюю мощность передатчика в режиме генерации несущей радиочастотного пакета, которая совпадает с СПМ; центральную частоту спектра излучения; ширину необходимой полосы излучений; уровни внеполосных излучений. Измеренные значения параметров излучений радиопередающих устройств БС должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 50016—92, ГОСТ Р 50657—94 и эксплуатационной документации.

При санитарно-эпидемиологической оценке электромагнитной безопасности населения контролируется плотность потока энергии ЭМП.

В связи с тем, что передатчик БС работает в режиме, близком к непрерывной генерации, (радиочастотные пакеты повторяются часто), при контроле ПДУ ЭМП используется измеритель средних квадратических значений напряженности электрического поля или измеритель средней плотности потока энергии, что соответствует гигиеническим требованиям.

### *1.4.3.3. Определение параметров электромагнитной безопасности МС в соответствии со стандартами связи GSM*

Нормируемым параметром, определяющим одну из главных характеристик уровня ЭМП, создаваемого МС, является СПМ в режиме передачи сообщений. Для МС со встроенной антенной ее опре-

деляют через напряженность электрического поля в дальней зоне излучения МС. МС с встроенной антенной относятся к 5-у классу мощности.

Для проведения измерений электромагнитного поля МС необходимо обеспечить определенные режимы ее функционирования, которые в процессе эксплуатации задаются как системой сотовой связи через базовые станции, так и пользователем. Поэтому для установления соответствия МС требованиям стандартов сотовой связи GSM в состав испытательного оборудования обязательно должен входить имитатор (*System Simulator*), который при испытаниях МС заменяет БС и пользователя и обычно совмещается с приемником, для измерения ПМ.

Измерения напряженности электрического поля МС и определение СПМ производится следующим образом:

МС размещается в безэховой камере или на открытой испытательной площадке на изолированной подставке в положении, обеспечивающем нормальное функционирование.

Приемник с имитатором подключается к измерительной антенне, расположенной на расстоянии трех метров от МС. Имитатор подает вызов, по которому МС устанавливает режим работы с максимальной СПМ.

Измерение ПМ радиочастотного пакета МС, полученного с выхода антенны, осуществляется методом выборки. Приемник осуществляет захват пакета и проводит измерение значений ПМ сигнала в течение периода продолжительности радиочастотного пакета. Скорость сканирования приемника должна быть не менее $2/T$, где $T$ — один бит или период модуляции (3,69 мкс). Полученный массив содержит примерно 300 значений. Значения, которые соответствуют времени передачи информационной части радиочастотного пакета, усредняются и используются в качестве опорного уровня 0 дБ, соответствующего максимальной СПМ МС.

Полученный массив данных сравнивается с маской, приведенной на рис. 1.7, а. МС поворачивается на 360° (с шагом угла поворота 45°) и устанавливается в восьми положениях от 0 до 7. При этом в каждом положении МС устанавливается в режим работы с максимальной СПМ.

МС замещается полуволновой дипольной антенной, подключенной к измерительному генератору, резонансной на средней частоте диапазона, в котором осуществляется передача сигналов (902,5 МГц). Мощность измерительного генератора устанавливается такой, чтобы получить значения, соответствующие опорному уровню 0 дБ, измеренному на выходе антенны имитатором в восьми положениях МС. Эта операция повторяется на пяти частотах, соответствующих кана-

лам передачи с 60 по 65. Образуется матрица 8×5, у которой значения, указанные в столбцах, соответствуют положениям МС при вращении, а в строках — частоте (номеру канала). Для каждого канала вычисляется средняя выходная мощность генератора $P_{ac}$, подводимая к полуволновой дипольной антенне, по восьми устанавливаемым мощностям $P_{nc}$ при различных положениях МС

$$P_{ac} = \frac{1}{8} \sum_{n=0}^{n=7} P_{nc} .$$

Далее используется соотношение, связывающее мощность в передающей антенне $P$ и напряженность электрического поля $E$ в дальней зоне излучателя,

$$E = (30\,PG)^{1/2}\,\frac{e^{-jkr}}{r},$$

где $G$ — коэффициент направленного действия антенны (КНД); $k = 2\pi/\lambda$ — постоянная распространения в свободном пространстве; $\lambda$ — длина волны; $r$ — расстояние до точки наблюдения.

Так как используется метод замещения, напряженности электрического поля, создаваемые МС и полуволновой дипольной антенной, одинаковы в месте расположения приемной антенны. Между мощностью, подведенной к полуволновой антенне ($P_{ac}$), мощностью, подведенной к антенне, встроенной в МС ($P_{мс}$), КНД дипольной антенны ($G_a$) и КНД антенны МС ($G_м$) существует связь $P_{мс}\,G_м = P_{ac}\,G_a$, по которой определяется мощность МС.

Для значений мощности, усредненной по каналам, получаем соотношение:

$P_м$ (относительно 1 мВт) $= P_a$(относительно 1 Вт) + 30 + 2,15 дБ.

В этом соотношении предполагается, что КНД антенны МС равен единице (КНД выраженный в дБ, равен нулю), что соответствует изотропному источнику излучения. КНД полуволновой дипольной антенны, выраженный в дБ, равен 2,15.

Погрешность определения СПМ МС должна находиться в пределах ±3дБ.

### *1.4.3.4. Определение параметров электромагнитной безопасности МС в соответствии с европейскими стандартами EN*

Разработан проект европейского стандарта EN 50361. Базовый стандарт по измерениям поглощенной удельной мощности (ПУМ) при облучении человека электромагнитными полями мобильных телефонов (300 МГц — 3 ГГц). Этот стандарт распространяется на любые передатчики МС в диапазоне частот от 300 МГц до 3ГГц, у которых

излучающая часть располагается в непосредственной близости от уха человека, включая переносные телефоны и т. д. Стандарт EN 50361 определяет методы и средства испытаний для измерения ПУМ.

$$ПУМ = \frac{dP}{dm} = \frac{\sigma E_i^2}{\rho},$$

где $dP$ — электромагнитная мощность (для МС — СПМ), поглощенная в массе $dm$; $\sigma$ — удельная проводимость среды (в данном случае — тканей тела человека); $\rho$ — плотность среды (ткани); $E_i$ — среднее квадратическое значение напряженности электрического поля (для МС — за время информативной части радиочастотного пакета)

Измерения должны проводиться с помощью миниатюрного преобразователя, для определения распределения напряженности электрического поля внутри фантома, моделирующего голову человека, помещенного в ЭМП МС. Преобразователь устанавливается с помощью автоматической системы позиционирования. По измеренным значениям напряженности электрического поля рассчитываются распределение ПУМ и его среднее значение для максимальной массы. При измерении ПУМ должны выполняться следующие условия:

окружающая температура может быть установлена в пределах (15—30) °С с допустимым отклонением от установленного значения за время измерения ±2 °С;

МС не должна взаимодействовать с локальной сетью связи;

должно быть устранено влияние посторонних источников радиочастотного излучения на результаты измерений;

должно быть устранено влияние искажений ЭМП МТ за счет окружающих предметов (пол, позиционер и т. д.);

проведение градуировки измерительной системы — не реже одного раза в год;

по размерам и форме фантом должен походить на голову и шею человека, так как форма является одним из основных параметров, влияющих на риск облучения;

свойства материалов, из которых изготовляется фантом, должны быть близки к свойствам тканей головы;

фантом должен служить сосудом для жидкости и позволять проводить сканирование электрического поля внутри него;

фантом не должен содержать лишних частей, например рук.

Форма и размеры фантома должны быть основаны на антропометрических данных. Фантом должен иметь плоское ухо для МС.

Оболочка должна быть изготовлена из диэлектрического материала, тангенс угла потерь которого удовлетворяет требованиям: $tg\delta \le 0{,}05$; $|\varepsilon_r| \le 5$. Допуск на толщину оболочки в области установки МС должен находиться в пределах ±2 мм.

Диэлектрические свойства жидкости фантома должны быть близки к диэлектрическим свойствам тканей человека и определяться выражениями:

$$\varepsilon_r = 46{,}52 - 0{,}006 f + 1{,}59 \cdot 10^{-6} f^2 - 1{,}40 \cdot 10^{-10} f^3,$$
$$\sigma = 0{,}8054 + 0{,}00015 f + 4{,}12 \cdot 10^{-8} f^2 + 2{,}87 \cdot 10^{-11} f^3,$$

где $\varepsilon_r$ — относительная диэлектрическая проницаемость;

$\sigma$ — удельная проводимость жидкости, См/м; $f$ — частота, МГц.

В обязательном приложении *D* к стандарту EN 50361, посвященному процедуре аттестации (*validation*) измерительной системы, рекомендуемой для измерения ПУМ от МС, кроме технических подробностей приведены и некоторые организационные аспекты, которые могут дать представление как о точности определения ПУМ, так и системе испытаний МС:

передаваемые для испытаний образцы МС должны быть представлены трем институтам, уполномоченным национальными комитетами;

каждая МС испытывается индивидуально производителем, для того чтобы ее СПМ находилась в пределах ±0,3 дБ от требуемой величины и в том же диапазоне, что и измеренная в безэховой камере;

институтам также предоставляется оборудование для контроля частоты и СПМ МС;

при оценке погрешности измерительной системы должно проводиться сравнение с контрольными значениями ПУМ. Контрольные значения ПУМ определяются путем межлабораторных сличений и поступают от институтов, указанных выше.

Если расхождения между измеренными и контрольными значениями превышают ±15 % (±0,5 дБ), то проводится переаттестация системы.

### *1.4.3.5. Сравнение методов определения параметров электромагнитной безопасности МС в стандартах GSM и EN*

Сравним основные положения методов определения параметров МС с встроенной антенной, связанных с электромагнитной безопасностью, которые доступны для потребителя и изложены в стандартах сотовой связи GSM, с методами определения, изложенными в стандартах EN.

1. Параметрами, подлежащими определению в результате измерений, являются СПМ радиочастотного пакета (GSM) и (ПУМ) в тканях человека или фантоме (EN).

2. СПМ и ПУМ являются расчетными величинами, измеряемой величиной является напряженность электрического поля.

3. Измерения проводятся в безэховой камере (*GSM*) и в проводящей среде внутри фантома (*EN*).

4. СПМ определяется по измерениям в дальней зоне МС (*GSM*), ПУМ — в ближней зоне МС (*EN*).

5. Измерения проводятся при максимальной СПМ МС в установившемся режиме связи (*EN*), задаваемой с помощью имитатора.

6. Ответственность за достоверность определения параметров, связанных с электромагнитной безопасностью, несет производитель (*GSM*) и уполномоченные институты (*EN*), которые кроме средств испытаний МС, используемых производителем, оснащены специфическими средствами испытаний (фантомами, позиционерами, изотропными преобразователями напряженности электрического поля для измерений в проводящей среде).

7. Точность относительных измерений СПМ у производителя характеризуется пределами допускаемой погрешности ±0,25 дБ (рис. 1.6, а), абсолютных измерений — ±3,0 дБ. Точность относительных измерений в уполномоченных институтах составляет ±0,6 дБ, а абсолютных измерений параметра ПУМ в диапазоне значений от 0,4 до 10 Вт/кг — ±30% (1,14 дБ). Таким образом, отношение абсолютных и относительных погрешностей измерений, выраженных в процентах, у производителя равно 16,8, а у институтов — 2. Если отношение, полученное производителем, верно, то пределы погрешности абсолютных измерений ПУМ должны оцениваться величиной не менее чем ±5,5 дБ. В связи с этим оценка погрешности измерения ПУМ, приведенная в EN, выглядит недостоверной.

### *1.4.3.6. Нормирование ЭМП МС (далее — подвижные станции ) в России*

В СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190 — 03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи» установлена процедура контроля уровней ЭМП от МС. Контроль уровней напряженности электрического поля и ППЭ ЭМП, создаваемых подвижными станциями, осуществляется при выдаче санитарно-эпидемиологического заключения на продукцию.

Измерения уровней напряженности электрического поля и ППЭ ЭМП, создаваемых подвижными станциями, должны проводиться в условиях, позволяющих стабильно обеспечивать максимальный уровень излучения ЭМП от подвижной станции.

При санитарно-эпидемиологической экспертизе мобильных станций сухопутной радиосвязи осуществляется:

1. Оценка уровней напряженности ЭМП, создаваемых подвижными станциями в диапазоне частот 27—30 МГц, которая производится при измерении контролируемых уровней на расстоянии 0,38 м от аппарата. При этом контролируемый уровень напряженности электрического поля не должен превышать 1,5 В/м.

2. Оценка уровней напряженности ЭМП, создаваемых подвижными станциями в диапазоне частот ≥30—300 МГц, которая производится при измерении контролируемых уровней на расстояниях от аппарата, указанных в табл. 1.10. При этом контролируемый уровень напряженности электрического поля не должен превышать 1,5 В/м.

3. Оценка уровней ППЭ ЭМП от аппаратов подвижной связи (в диапазоне частот ≥300—2400 МГц) по измерениям на расстояниях, соответствующих зоне сформированного поля, с обратным пересчетом в величины ближней зоны.

Таблица 1.10

**Расстояния, на которых следует проводить измерения напряженности ЭМП от подвижных станций, работающих в диапазоне частот ≥30—300 МГц**

| Частота ЭМП, МГц | Расстояние от аппарата до точки измерения, м | Контролируемый уровень напряженности ЭМП, В/м |
|---|---|---|
| 30—40 | 0,2 | 1,5 |
| 150 | 4,9 | 1,5 |
| 180 | 4,2 | 1,5 |
| 300 | 2,5 | 1,5 |
| Примечание — В интервалах между частотами, расстояние от аппарата до точки измерения определяется интерполяцией. | | |

4. Измерение контролируемых уровней ППЭ ЭМП от подвижной станции, работающей в диапазоне частот ≥300—2400 МГц:

для диапазона частот ≥300--800 МГц — на расстояниях от передней панели аппарата, представленных на рис. 1.7 (в том числе, на частоте 450 МГц — на расстоянии 620 мм);

для диапазона частот ≥800 МГц — 2400 МГц — на расстоянии 370 мм.

5. При этом контролируемый уровень ППЭ ЭМП в диапазоне частот ≥300 МГц — 2400 МГц не должен превышать 3 мкВт/см$^2$.

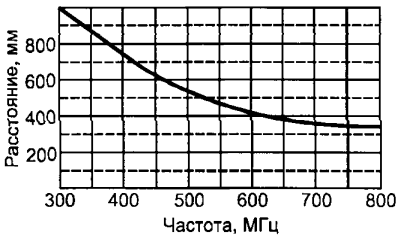



**Рис. 1.7. Расстояния, на которых следует проводить измерения ППЭ ЭМП от подвижных станций, работающих в диапазоне частот ≥300—800 МГц**

В заключение авторы отмечают, что проблема электромагнитной безопасности пользователей МС находится в стадии исследований. Это связано с тем, что механизмы воздействия на человека электромагнитного поля радиочастотных пакетов, на которых основана сотовая связь GSM, недостаточно изучены.

Однако, при определении параметров электромагнитной безопасности наиболее распространенных МС со встроенной антенной (радиотелефонов), измеряемой является напряженность электрического поля радиочастотного пакета. Через нее определяются СПМ и ПУМ. Чем меньше значение напряженности поля, создаваемого радиотелефоном, тем эти величины меньше и меньше фактор риска.

В настоящее время пользователям радиотелефонов авторы могут рекомендовать, чтобы:

1) при покупке радиотелефона обращали внимание на значение параметра «выходная мощность». (Чем оно меньше, тем меньше фактор риска от воздействия ЭМП);
2) при наборе вызываемого номера или при автоматическом наборе номера не держали радиотелефон у головы, так как в этом режиме он создает уровень ЭМП в несколько раз превышающий уровень ЭМП в режиме установившейся связи;
3) пользовались радиотелефоном только в необходимых случаях.

## 1.5. Метрологическое обеспечение измерений параметров электромагнитного поля

Согласно Закону Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» измерения, проводимые на соответствие требованиям нормативных документов по электромагнитной безопасности, относятся к сфере государственного метрологического контроля и надзора. Это означает, что используемые при этих измерениях средства измерений должны пройти испытания для целей утверждения типа, внесены в Государственный реестр, т.е. должны иметь сертификат об утверждении типа средств измерений и, наконец, должны быть поверены согласно утвержденной методике поверки на соответствующем рабочем эталоне. Рабочий эталон является источником

эталонного поля или эталонным измерителем электрического или магнитного поля, который, в свою очередь, должен быть поверен в соответствии с одной из поверочных схем, приведенных в ГОСТ 8.030—91, ГОСТ 8.097—73, ГОСТ 8.560—94, ГОСТ Р 8.564—98, ГОСТ Р 8.574—2000. В перечисленных стандартах указаны следующие государственные эталоны.

Государственный первичный эталон единиц магнитной индукции постоянного поля, постоянного магнитного потока, отношения магнитной индукции переменного поля к силе тока и отношения магнитного потока к магнитной индукции;

Государственный специальный эталон единицы напряженности магнитного поля в диапазоне частот 0,01—30 МГц;

Государственный первичный эталон единицы напряженности электрического поля в диапазоне частот от 0,0003 до 1000 МГц;

Государственный специальный эталон единицы электрической емкости в диапазоне частот от 1 до 100 МГц;

Государственный первичный эталон единицы плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 0,3 до 78 ГГц.

Поверка измерителей напряженности электрического и магнитного полей (магнитной индукции) проводится методом прямых измерений напряженности эталонного электрического или магнитного поля (магнитной индукции), воспроизводимого в рабочем эталоне, либо непосредственным сличением с эталонными измерителями. В методике поверки конкретного измерителя указываются значения напряженности электрического или магнитного поля (магнитной индукции) и частоты, при которых должны проводиться эти измерения. Результат поверки считается положительным, если во всех поверяемых точках модуль разности между измеренным и установленным значениями — не более погрешности измерителя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛ. 1

1. Закон РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

2. Закон РФ «Об обеспечении единства измерений».

3. ГОСТ 8.030—91. ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений магнитной индукции постоянного поля в диапазоне $1 \cdot 10^{-12} \div 5 \cdot 10^{-2}$ Тл, постоянного магнитного потока, магнитной индукции и магнитного момента в интервале частот 0—20000 Гц.

4. ГОСТ 8.097—73. ГСИ Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений напряженности магнитного поля в диапазоне частот от 0,01 до 300 МГц.

5. ГОСТ 8.560—94. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений напряженности электрического поля в диапазоне частот 0,0003—1000 МГц.

6. ГОСТ Р 8.564—98. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений электрической емкости в диапазоне частот от 1 до 100 МГц.

7. ГОСТ Р 8.574—2000. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот 0,3—178,4 ГГц.

8. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383—03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов.

9. СанПиН 2.1.2.1002—2000. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям.

10. СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

11. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190—03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи.

12. МСанПиН 001—96. Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях.

13. МУК 4.3.044—96. Определение уровней электромагнитного поля, границ санитарно-защитной зоны и зон ограничения застройки в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто- и декаметрового диапазонов.

14. МУК 4.3.1676—03. Гигиеническая оценка электромагнитных полей, создаваемых радиостанциями сухопутной подвижной связи, включая абонентские терминалы спутниковой связи.

15. МУК 4.3.1677—03. Определение уровней электромагнитного поля, создаваемого излучающими техническими средствами телевидения, ЧМ радиовещания и базовых станций сухопутной подвижной радиосвязи.

16. МУК 4.3.678—97. Определение уровней напряжений, наведенных электромагнитными полями на проводящие элементы зданий и сооружений в зоне действия мощных источников радиоизлучений.

17. МУК 4.3.679—97. Определение уровней магнитного поля в местах размещения передающих средств радиовещания и радиосвязи кило-, гекто- и декаметрового диапазонов.

18. МУК 4.3.1067—02. Определение плотности потока энергии в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц.

19. Методические указания по определению электромагнитного поля воздушных высоковольтных линий электропередачи и гигиенические требования к их размещению. № 4109—86.

20. СН 2550—82. Предельно допустимые нормы напряженности электромагнитного поля, создаваемого индукционными бытовыми печами, работающими на частоте 20—22 кГц.

21. СН 2666—83. Предельно допустимые уровни плотности потока энергии, создаваемой микроволновыми печами.

22. СН 2158—80. Санитарно-гигиенический контроль полимерных стройматериалов, предназначенных для применения в строительстве жилых и общественных зданий.

23. СНиП 2971—84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты.

24. Радиационная медицина: Руководство для врачей-исследователей и организаторов здравоохранения. — Т. IV. Гигиенические проблемы неионизирующих излучений / Под общ. ред. Л.А. Ильина — М.: ИздАТ, 1999.

25. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Григорьев О.А., Меркулов А.В. Электромагнитная безопасность человека. —М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999.

26. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. — М.: «ЭКО-ТРЕНДЗ», 1998.

27. Измеров Н.Ф., Пальцев Ю.П., Суворов Г.А., Тарасова Л.А., Никонова К.В., Рубцова Н.Б., Походзей Л.В., Левина А.В. Неионизирующие электромагнитные излучения и поля: Руководство «Физические факторы. Эколого-гигиеническая оценка и контроль». —Т.1. — М.: Медицина, 1999. — С. 8—95.

28. Никонова К.В., Савин Б.М. Гигиеническое обоснование подходов к нормированию радиоволн//Методологические вопросы гигиенического нормирования электромагнитных излучений радиочастотного диапазона: Сб. научн. тр. — М.: НИИ ГТиПЗ АМН СССР, 1979. — С. 43—59.

29. Никольский В.В.. Теория электромагнитного поля. — М.: Изд-во «Высшая школа», 1964.

30. Савин Б.М. Проблема гигиенического нормирования электромагнитных излучений радиочастотного диапазона на современном этапе //В кн. «Методологические вопросы гигиенического нормирования ЭМИ радиочастотного диапазона». — М.— НИИ ГТиПЗ АМН СССР, 1979.

31. Суворов Г.А., Пальцев Ю.П., Хунданов Л.Л., Рубцова Н.Б., Никонова К.В., Походзей Л.В. Неионизирующие электромагнитные излучения и поля (Экологические и гигиенические аспекты). — М. — 1998.

32. Чечурина Е. Н. Приборы для измерения магнитных величин //Электроизмерительные приборы. — Выпуск 13. — М.: Изд-во «Энергия», 1969.

33. Феер К. Беспроводная цифровая связь. — М.: «Радио и связь», 2000.

34. ADI 478. Low-frequency electrical and magnetic fields: the precautionary principle for national authorities, GrafiskaGruppen, — Stockholm — 1996.

35. CENELEC ENV 50166-1:95. Human exposure to electromagnetic fields. Low frequency (0 to 10 kHz).

36. CENELEC ENV 50166—2:95. Human exposure to electromagnetic fields. High frequency (10 kHz to 300 GHz).

37. CLC/TC 111(SEC) 10. European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)//Norms in frequency range 3 Hz—30kHz. — 1993.

38. CENELEC EN 50361. Basic Standard for the measurement of Specific Absorption Rate relatid to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz — 3 GHz).

39. ETSI TS 100 573. Digital cellular telecommunications system. Physical layer on the radio path.General description (GSM 05.01).

40. ETS 3005777. European digital cellular telecommunications system. Radio transmission and reception (GSM 05.05).

41. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 74: 494—522 —1998.

42. WHO Fact Sheet № 263 (October 2001) «Electromagnetic fields and public health. Extremely low frequency fields and cancer».

43. Kheifets L. EMF and cancer: epidemiological evidence to date. In Pros. "WHO meeting on EMF biological effects and standards harmonization in Asia and Oceania". 22-24 October, 2001. Seoul, Korea. P. 13—16.

44. Vecchia P. Italian and Swiss regulations on exposure to electromagnetic fields.// Proc. Of Eastern Europenian Regional EMF Meeting and Workshop "Measurements and Criteria for Standard Harmonization in the Field of EMF Exposure" and WHO EMF Standards Harmonization Meeting. Ed. By M.Israel and M.Repacholi — Varna — Bulgaria — 2001 — P. 117—118.

# Глава 2. ИЗЛУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

С.И. Аневский, Ю.М. Золотаревский, В.С. Иванов,
А.Ф. Котюк, О.А. Минаева, Н.П. Муравская,
М.Н. Павлович, В.И. Саприцкий

## 2.1. Характеристики оптического излучения

Наиболее широко для характеристики интенсивности оптического излучения при определении степени его воздействия на организм человека применяется энергетическая и эффективная освещенность. Энергетическая освещенность (ЭО) или облученность в точке поверхности определяется как отношение потока излучения, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента. Энергетическая освещенность обозначается символом $E$ и измеряется в ваттах на квадратный метр (Вт/м$^2$)

$$E = d\Phi/dA, \tag{2.1}$$

где $d\Phi$ — поток излучения или мощность излучения;

$dA$ — площадь элемента поверхности.

Для измерения энергетической освещенности в различных диапазонах длин волн используются радиометры оптического излучения. Энергетическая освещенность определяется выражением

$$E = K_1 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) d\lambda, \tag{2.2}$$

где $\lambda$ — длина волны,

$\lambda_2$, $\lambda_1$ — длины волн границ участка спектра, в котором проводятся измерения;

$E(\lambda)$ — спектральная плотность энергетической освещенности (СПЭО);

$K_1$ — коэффициент пропорциональности, определяемый выбором размерности величин.

Радиометры применяются для измерений энергетической освещенности в следующих диапазонах ультрафиолетового излучения:

УФ-А (0,315—0,400) мкм,
УФ-А1 (0,315—0,340) мкм,
УФ-А2 (0,340—0,400) мкм,
УФ-В (0,280—0,315) мкм,
УФ-С (0,200—0,280) мкм.

Для области инфракрасного излучения (0,78—1000) мкм также принято деление на диапазоны:

ИК-А (0,78—1,4) мкм,
ИК-В (1,4—3,0) мкм,
ИК-С (3—1000) мкм.

Стандартная относительная спектральная чувствительность $S(\lambda)$ радиометра должна иметь постоянные значения в рабочем диапазоне длин волн ($\lambda_2$, $\lambda_1$) и значения, равные нулю, вне диапазона длин волн ($\lambda_2$, $\lambda_1$), так что показания радиометра $I$ пропорциональны измеряемому значению энергетической освещенности

$$I = K_2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) E(\lambda)\, d\lambda, \qquad (2.3)$$

где $K_2$ — коэффициент пропорциональности.

Степень приближения реальной относительной спектральной чувствительности радиометра к стандартной оценивается по критериям, разработанным в рекомендациях Международной комиссии по освещенности МКО № 53 [17], и определяет погрешность радиометра оптического излучения.

Спектрорадиометры оптического излучения предназначены для измерения спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) в ваттах на кубический метр Вт/м$^3$ . Значения ЭО излучения определяют интегрированием СПЭО по длинам волн в соответствии с выражением (2.2). Спектрорадиометры позволяют также определить эффективную освещенность $E^{eff}$ интегрированием СПЭО по длинам волн с учетом безразмерного спектрального коэффициента относительной эффективности $K^{eff}(\lambda)$ оптического излучения

$$E^{eff} = K_1 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) K^{eff}(\lambda)\, d\lambda. \qquad (2.4)$$

Примеры табулированных значении $K^{eff}(\lambda)$ представлены в табл. 2.1.

Наиболее распространенными на практике являются измерения

Таблица 2.1

**Значения коэффициентов относительной эффективности**

| Длина волны, нм | Коэффициент, учитывающий опасное воздействие УФ-излучения по критерию TLV | Коэффициент, учитывающий эритемное воздействие УФ-излучения |
|---|---|---|
| 200 | 0,030 | 1,000 |
| 205 | 0,051 | 1,000 |
| 210 | 0,075 | 1,000 |
| 215 | 0,095 | 1,000 |
| 220 | 0,120 | 1,000 |
| 225 | 0,150 | 1,000 |
| 230 | 0,190 | 1,000 |
| 235 | 0,240 | 1,000 |
| 240 | 0,300 | 1,000 |
| 245 | 0,360 | 1,000 |
| 250 | 0,430 | 1,000 |
| 255 | 0,520 | 1,000 |
| 260 | 0,650 | 1,000 |
| 265 | 0,810 | 1,000 |
| 270 | 1,000 | 1,000 |
| 275 | 0,960 | 1,000 |
| 280 | 0,880 | 1,000 |
| 285 | 0,770 | 1,000 |
| 290 | 0,640 | 1,000 |
| 295 | 0,540 | 1,000 |
| 300 | 0,300 | 0,830 |
| 305 | 0,060 | 0,330 |
| 310 | 0,015 | 0,110 |
| 315 | 0,003 | 0,018 |
| 320 | 0,001 | 0,010 |
| 325 | 0,000 | 0,007 |
| 330 | 0,000 | 0,005 |
| 335 | 0,000 | 0,004 |
| 340 | 0,000 | 0,003 |
| 345 | 0,000 | 0,0025 |
| 350 | 0,000 | 0,002 |
| 355 | 0,000 | 0,0017 |
| 360 | 0,000 | 0,0014 |

эффективной освещенности и эффективной яркости оптического излучения с учетом относительной спектральной световой эффективности излучения по зрительному ощущению с использованием люксметров и яркомеров. Световая эффективная освещенность или осве-

щенность в точке поверхности определяется как отношение светового потока, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента. Освещенность обозначается символом $E_v$ и измеряется в люксах (лк)

$$E_v = d\Phi_v/dA, \tag{2.5}$$

где $\Phi_v$ — световой поток.

Стандартная относительная спектральная чувствительность $S(\lambda)$ люксметра должна соответствовать значениям относительной спектральной световой эффективности оптического излучения $V(\lambda)$, так что показания люксметра $I_v$ пропорциональны измеряемому значению освещенности

$$I_v = K_3 \int_{\lambda} E(\lambda)V(\lambda)d\lambda, \tag{2.6}$$

где $K_3$ — коэффициент пропорциональности.

Значения относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$ приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Значения относительной спектральной световой эффективности**

| Длина волны, нм | $V(\lambda)$ | Длина волны, нм | $V(\lambda)$ |
|---|---|---|---|
| 400 | $4{,}10 \cdot 10^{-4}$ | 580 | $8{,}70 \cdot 10^{-1}$ |
| 410 | $1{,}21 \cdot 10^{-3}$ | 590 | $7{,}57 \cdot 10^{-1}$ |
| 420 | $4{,}00 \cdot 10^{-3}$ | 600 | $6{,}31 \cdot 10^{-1}$ |
| 430 | $1{,}16 \cdot 10^{-2}$ | 610 | $5{,}03 \cdot 10^{-1}$ |
| 440 | $2{,}30 \cdot 10^{-2}$ | 620 | $3{,}81 \cdot 10^{-1}$ |
| 450 | $3{,}80 \cdot 10^{-2}$ | 630 | $2{,}65 \cdot 10^{-1}$ |
| 460 | $6{,}00 \cdot 10^{-2}$ | 640 | $1{,}75 \cdot 10^{-1}$ |
| 470 | $9{,}10 \cdot 10^{-2}$ | 650 | $1{,}07 \cdot 10^{-1}$ |
| 480 | $1{,}39 \cdot 10^{-1}$ | 660 | $6{,}10 \cdot 10^{-2}$ |
| 490 | $2{,}08 \cdot 10^{-1}$ | 670 | $3{,}20 \cdot 10^{-2}$ |
| 500 | $3{,}23 \cdot 10^{-1}$ | 680 | $1{,}70 \cdot 10^{-2}$ |
| 510 | $5{,}03 \cdot 10^{-1}$ | 690 | $8{,}20 \cdot 10^{-3}$ |
| 520 | $7{,}10 \cdot 10^{-1}$ | 700 | $4{,}10 \cdot 10^{-3}$ |
| 530 | $8{,}62 \cdot 10^{-1}$ | 710 | $2{,}10 \cdot 10^{-3}$ |
| 540 | $9{,}54 \cdot 10^{-1}$ | 720 | $1{,}05 \cdot 10^{-3}$ |
| 550 | $9{,}95 \cdot 10^{-1}$ | 730 | $5{,}20 \cdot 10^{-4}$ |
| 555 | 1,00 | 740 | $2{,}50 \cdot 10^{-4}$ |
| 560 | $9{,}95 \cdot 10^{-1}$ | 750 | $1{,}20 \cdot 10^{-4}$ |
| 570 | $9{,}52 \cdot 10^{-1}$ | | |

Коэффициент естественной освещенности (КЕО) определяется как отношение освещенности, создаваемой естественным светом внутри помещения, к наружной горизонтальной освещенности и измеряется с использованием двух люксметров.

Энергетическая яркость оптического излучения определяется как отношение потока излучения, испускаемого с элемента поверхности, к произведению телесного угла $d\Omega$, в котором он распространяется, площади элемента поверхности $dA$ и косинуса угла $\Theta$ отклонения направления излучения от нормали к поверхности

$$L = d^2\Phi/(d\Omega\, dA \cos\Theta). \tag{2.7}$$

Эффективная яркость или яркость в точке поверхности определяется как отношение светового потока излучения, исходящего с элемента поверхности, к произведению телесного угла, $d\Omega$, в котором он распространяется, площади элемента поверхности $dA$ и косинуса угла $\Theta$ отклонения от нормали к поверхности

$$L_v = d^2\Phi/(d\Omega\, dA \cos\Theta). \tag{2.8}$$

Яркость обозначается символом $L_v$ и измеряется в канделах на квадратный метр, кд/м$^2$.

Относительная спектральная чувствительность $S(\lambda)$ яркомера соответствует значениям относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$, так что показания яркомера $I_L$ пропорциональны измеряемому значению яркости

$$I_L = K_4 \int_{\lambda} V(\lambda) L(\lambda) d\lambda, \tag{2.9}$$

где $K_4$ — коэффициент пропорциональности.

Коэффициент пульсации $K_п$ периодически изменяющейся во времени освещенности $E(t)$ , выраженный в процентах, определяется соотношением

$$K_п = \frac{(E_{max} - E_{min}) \cdot T}{2 \int_T E(t) dt} \cdot 100, \tag{2.10}$$

где $T$ — период пульсации освещенности оптического излучения, $E_{max}$ , $E_{min}$ — соответственно максимальное и минимальное значения $E(t)$ за период $T$.

Фотометры-пульсметры автоматически определяют максимальное, минимальное и среднее значение освещенности за период $T$ и рассчитывают значение коэффициента пульсации. Спектральная чувствительность фотометров-пульсметров соответствует относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$.

Показатели ослепленности и дискомфорта рассчитывают на основании измеренных распределений яркости источников света и отражающих поверхностей в пределах поля зрения наблюдателя.

Показатель ослепленности $P$ рассчитывается по формуле

$$P = \frac{10^3 \cdot m}{L_a}\left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{E_i}{\gamma^2}\right)^{3/2}\right]^{2/3}, \qquad (2.11)$$

где $m$ — коэффициент, зависящий от типа источника, оказывающего слепящее действие,

$n$ — число источников в поле зрения;

$L_a$ — яркость адаптации наблюдателя — величина, зависящая от распределения яркости светящихся объектов (источников и отражающих поверхностей) в поле зрения наблюдателя;

$\gamma$ — угол действия слепящего источника между линией зрения и направлением на слепящий источник;

$E_i$ — освещенность в плоскости наблюдения на зрачке наблюдателя, создаваемая $i$-м источником,

$$E_i = \int_{\Delta\Omega} L(\Omega)\, d\Omega, \qquad (2.12)$$

где $L(\Omega)$ — распределение яркости по излучающей поверхности слепящего источника,

$\Delta\Omega$ — телесный угол, в пределах которого наблюдателю видна излучающая поверхность слепящего источника,

$d\Omega$ — элемент телесного угла.

Для произвольного распределения яркости в поле зрения наблюдателя величина $L_a$ может быть рассчитана. Для полей яркости без резкой неоднородности распределения величина $L_a$ равна средней яркости по полю зрения. Для слепящих источников небольших угловых размеров величина $E_i$ рассчитывается по формуле

$$E_i = K_5(I_v \cdot \cos\gamma)/r^2, \qquad (2.13)$$

где $r$ — расстояние до источника,

$K_5$ — размерный коэффициент,

$I_v$ — сила света в направлении наблюдателя,

$$I_v = d\Phi_v/d\Omega. \qquad (2.14)$$

Показатель дискомфорта $M$ рассчитывается по формуле

$$M = \left\{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{L\cdot(\Delta\Omega)^{1/2}}{p\cdot L_a}\right]^2\right\}^{1/2}, \qquad (2.15)$$

где $p$ — индекс Гата позиции источника.

Энергетическая экспозиция (ЭЭ) или энергия оптического излучения, называемая также лучистой энергией или интегральной дозой, определяется интегрированием ЭО по времени $t$ в течение периода воздействия излучения $T$ и измеряется дозиметрами оптического излучения в джоулях на квадратный метр (Дж/м$^2$)

$$H = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{0}^{T} E(\lambda,\ t)\, dt\, d\lambda. \qquad (2.16)$$

Световая экспозиция определяется поверхностной плотностью световой энергии или произведением светового потока на длительность освещения и измеряется дозиметрами в люкс-секундах (лк · с)

$$H_v = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{0}^{T} E(\lambda,\ t) V(\lambda)\, dt\, d\lambda. \qquad (2.17)$$

Относительно редко для характеристики интенсивности оптического излучения при определении степени его воздействия на человека применяются сила света, энергетическая сила излучения, светимость

Значения энергетической освещенности, создаваемой солнечным излучением в верхних слоях атмосферы Земли, приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3.

**Энергетическая освещенность, создаваемая солнечным излучением в верхних слоях атмосферы**

| Спектральныи диапазон, мкм | Значения спектральнои энергетической освещенности, Вт/м$^2$ | В процентах от общей энергетическои освещенности |
|---|---|---|
| УФ-С (0,2—0,28) | 6,4 | 0,5 |
| УФ-В (0,28—0,315) | 21,1 | 1,5 |
| УФ-А (0,315—0,4) | 85,7 | 6,3 |
| УФ (0,2—0,4) | 113,2 | 8,3 |
| Видимый и ИК (0,4—0,9) | 1254 | 91,7 |

Солнечное УФ излучение поглощается и рассеивается при прохождении сквозь земную атмосферу, причем наиболее важным процессом является поглощение молекулярным кислородом и озоном. Озоновый слой препятствует проникновению опасного УФ излучения с длиной волны короче 290 нм. Атмосферный озон важен для фильтрации солнечной УФ радиации. Изменение толщины озоново-

го слоя оказывает влияние только на область УФ-В. По мере снижения содержания стратосферного озона возникающие в результате этого повышенные уровни солнечной УФ-В радиации могут приводить к увеличению образования активных радикалов, повышающих химическую активность тропосферы. В загрязненных областях с высокими концентрациями оксидов азота и углеводородных соединений возникают уровни тропосферного озона и других опасных продуктов окисления, таких как пероксид водорода и кислоты, превышающие предельно допустимые концентрации.

Ультрафиолетовое излучение присутствует в спектре целого ряда искусственных излучателей на основе ксеноновых и ртутных газоразрядных ламп, широко применяемых в облучательных установках.

## 2.2. Механизм воздействия оптического излучения на человека

Степень опасности и вредного воздействия оптического излучения на организм человека зависит от спектрального состава, интенсивности и временны́х характеристик. Если инфракрасное излучение оказывает тепловое воздействие на организм, приводящее к локальному перегреву тканей, то ультрафиолетовое излучение оказывает дополнительное интенсивное фотохимическое воздействие. Энергия ультрафиолетового кванта оказывается достаточной для разрушения химических связей молекул и изменения хода биохимических процессов. Опасность воздействия видимого излучения определяется, прежде всего, высокой яркостью некоторых излучателей, что приводит к поражению глазной сетчатки, а также высокой степенью пульсации, которая вызывает повышенную утомляемость и раздражительность при использовании искусственного освещения или при работе с компьютерными мониторами.

Ультрафиолетовое излучение (УФИ) (200—400) нм оказывает как полезное, так и опасное воздействие на организм человека [17,27]. Опасное УФ излучение присутствует также в спектре солнечного излучения.

УФ облучение не только оказывает прямое воздействие на кожу, но и вызывает ряд системных изменений. Оно повышает тонус симпатико-адреналовой системы, активность ферментов и уровень неспецифического иммунитета, а также увеличивает секрецию ряда гормонов. Под действием небольших доз УФИ, которые не вызывают эритемы, снижается кровяное давление. После облучения давление постепенно падает, и пониженное давление может держаться в течение нескольких дней. Сезонные колебания заболеваемости часто

связывают с колебаниями уровня УФИ. Толерантность к эффекту таких химических веществ, как нитриты, бензопирен и т.д., имеющих общетоксическое, канцерогенное и аллергическое действие, зависит от степени воздействия УФ-излучения.

Длительное отсутствие УФИ может иметь неблагоприятные последствия для человеческого организма и может привести к развитию патологического состояния, известного как световое голодание. Наиболее частым проявлением этого заболевания является нарушение обмена веществ и развитие недостаточности витамина *D*, что сопровождается резким снижением сопротивляемости организма. В последние годы широкое распространение получили искусственные источники солнечного излучения — солярии, используемые для компенсации недостатка УФ излучения, а также для получения быстрого и безопасного загара. Методика выполнения измерений характеристик УФ излучения соляриев приведена далее.

Потемнение кожи в результате солнечного воздействия является одним из важнейших защитных механизмов от дальнейшего повреждения ультрафиолетовыми лучами. УФИ в диапазоне от 290 до 315 нм дает солнечный ожог и вызывает последующее новое пигментообразование. Излучение в диапазоне от 320 до 400 нм вызывает небольшую эритему (за исключением случаев очень высоких доз облучения), но может приводить также к немедленному потемнению кожи. Самой мягкой формой солнечной эритемы является покраснение кожи, которое появляется вскоре после воздействия УФИ и постепенно исчезает через несколько дней. Более тяжелые формы эритемы выражаются в воспалении кожи, появлении волдырей с последующим шелушением кожи. Это сопровождается потемнением кожи, которое становится заметным после двух дней облучения. Меланин действует в качестве нейтрального фильтра интенсивности и уменьшает количество радиации, которая может достигнуть нижнего слоя кожи или проникнуть в дерму и поразить кровеносные сосуды. С увеличением пигментации увеличивается и доза УФИ, приводящая к развитию эритемы.

Особенно выражено канцерогенное действие УФИ у людей, имеющих проблемы в восстановлении ДНК. Пигментная ксеродермия — это наследственная кожная болезнь человека. Цитологические исследования обеспечили решающие доводы в пользу взаимосвязи между восстановлением фотоповреждений и канцерогенезом. Для лиц, страдающих пигментной ксеродермией, характерна анормальная пигментация и высокая частота случаев рака кожи, вызванного воздействием солнечной радиации в ультрафиолетовом спектре.

Имеются данные, показывающие, что физические и химические факторы могут ослабить или усилить канцерогенный эффект УФИ.

УФ-В излучение может повлиять на сопротивляемость организма к образованию опухолей, увеличивая ее при облучении субэритемными дозами и уменьшая при облучении большими дозами. Эти данные могут иметь большое значение для охраны здоровья человека, поскольку резистентность организма к воздействию различных неблагоприятных факторов окружающей среды действует на фоне естественного УФИ.

Базальноклеточный рак и чешуйчатоклеточный рак, обусловленные в первую очередь длительным воздействием УФ-В, чаще развиваются в более позднем возрасте, чем злокачественная меланома, и самым тесным образом связаны с серьезными повреждениями кожи, вызванными солнечной радиацией. Таким образом, рак кожи меланомного и немеланомного типа по-разному связан с воздействием УФИ.

Повреждение кожи, вызываемое светом, называется фототоксическим. Такие повреждения могут возникнуть у любого человека, если на его кожу воздействует значительное количество УФИ. С клинической точки зрения фототоксические реакции обычно характеризуются эритемой, а иногда отеком, появляющимися через несколько минут или через несколько часов после воздействия УФИ и сопровождающимися гиперпигментацей и шелушением. Солнечный ожог — пример реакции на фототоксическое воздействие. Эритема, связанная с фотодинамическими соединениями, возникает непосредственно после воздействия или в процессе воздействия излучения и может сопровождаться появлением «мучнистых образований». Несмотря на проведенные многочисленные исследования, механизм появления фототоксической реакции все еще не ясен.

Фотосенсибилизаторы могут попадать на поверхность кожи, и реакции по своей природе могут быть фототоксическими или фотоаллергическими. Спектры действия большинства фототоксичных веществ, вызывающих кожные нарушения у человека, находятся в области длинноволнового УФИ (315—400) нм. Контактные фотосенсибилизаторы могут входить в состав косметических средств, например духов, одеколонов, лосьонов, эфирных масел, губной помады, производных флуоресцеина, кремов и средств для волос. Кроме того, контактные фотосенсибилизаторы входят в состав растений, вызывающих фитофотодерматиты. Это связано в основном с терапевтическими средствами, в том числе сульфаниламидами, солнцезащитными средствами. Системные фотосенсибилизаторы включают: диуретики группы тиазида; антибактериальные сульфаниламиды; противодиабетические лекарственные средства и антибиотики (особенно диметилхлортетрациклин). Фоточувствительность в ряде случаев

могут вызывать и другие лекарственные препараты. Фотоаллергию можно определить как приобретенную измененную способность кожи реагировать на световую энергию самостоятельно или в присутствии фотосенсибилизатора. Однажды развившись, фотоаллергия может проявляться как реакция даже на видимый свет. Небольшие количества фотоантигена сохраняются в кожном покрове и вызывают реакцию циркулирующих антител или иммунный ответ на клеточном уровне. Фотоаллергия характеризуется клинически такими проявлениями, как мгновенная крапивница или замедленная экзематозная реакция, похожая на контактный дерматит. Отличительным признаком токсической и аллергической реакции, вызванной воздействием солнечной радиации, является высыпание. В отличие от карциномы кожи карцинома глаза чаще встречается из-за большего воздействия УФИ и отсутствия пигмента в слизистой оболочке глаза. Наибольший риск для здоровья связан с длительным избыточным воздействием ультрафиолетовой радиации и условиями воздействия УФИ.

Взаимодействие УФ излучения (с различной длиной волн, в особенности диапазона УФ-А) с природными и искусственными химическими веществами может привести к ряду неблагоприятных эффектов, обычно не возникающих при воздействии только УФ излучения или только химических агентов. К самым распространенным видам воздействия относятся фототоксичность, фотоаллергия и усиленный химическими веществами фотоканцерогенез. Среди фототоксичных веществ наиболее распространенными являются псоралены, которые встречаются в кожуре большинства цитрусовых и во многих зеленых лиственных растениях. Контакт с такими веществами чаще всего происходит при сборе цитрусовых фруктов и при пользовании духами, содержащими бергамот. Фототоксичные реакции выглядят как солнечный ожог.

Растет загрязнение окружающей среды искусственными фотоактивными химическими веществами. Отмечались серьезные вспышки фотоаллергических реакций, вызванных некоторыми добавками в мыло, антибиотики, лекарственные средства.

Для косметических целей обычно приемлемы дозы облучения, способные вызывать легкую эритему через 24 ч.

Некоторые бытовые приборы излучают значительные дозы УФИ или способны излучать в случае нарушения защитного покрытия прибора и могут вызвать повреждение кожного покрова или зрения. К таким приборам относятся кварцевые и стерилизационные лампы, генераторы озона, мощные ртутные или ксеноновые лампы, используемые для освещения.

Солнцезащитные средства обычно подразделяются на химические и физические. К химическим агентам относятся парааминобензойная кислота и ее эфиры, циннаматы и бензофеноны, поглощающие радиацию. Физические агенты действуют как простые физические преграды, отражающие, блокирующие или рассеивающие свет. Принцип покрытия кожи слоем надежного УФ поглотителя нашел широкое применение. Если используется слой адекватной толщины и он хорошо впитывается в кожу, гарантирована надежная защита при любых условиях. Одежда обычно не поглощает лучей полностью. Воздействие УФ радиации на кожу и глаза должно быть сведено до минимума, за исключением тех случаев, когда процедуры предписаны на основании медицинских показаний.

Воздействие ИК излучения подробно описано в обзоре по эколого-гигиенической оценке и контролю инфракрасного и ультрафиолетового излучения под редакцией академика РАМН Н.Ф. Измерова [29]. Ниже приводятся некоторые наиболее важные сведения из этой работы.

Инфракрасное излучение оказывает на организм в основном тепловое действие. Поглощение энергии ИК излучения происходит главным образом в эпидермисе. Наблюдается более слабая реакция терморецепторов кожи на радиационный нагрев или охлаждение, по сравнению с конвекционным, что связано с процессом переноса теплового излучения в более глубокие слои кожи, в которых плотность терморецепторов ниже. Коэффициент поглощения ИК излучения, а следовательно, и эффект его действия и глубина проникновения в кожу зависят от длины волны. При облучении кожи в организме возникает ряд сложных биохимических процессов.

Специфичность действия ИК облучения на человека обусловливается проницаемостью поверхностных тканей для ИК излучения и преобразованием его в тепловую энергию в глубоко лежащих тканях. Это сопровождается активизацией биохимических процессов и повышением тонуса тканей. Биохимический эффект от воздействия ИК излучения проявляется при поглощении излучения белками кожи и активизации ферментативных процессов. Наблюдаются уменьшение лейкоцитов и тромбоцитов, более высокий титр и более раннее появление агглютининов в крови. Под воздействием ИК излучения понижается тонус вегетативной нервной системы и повышается содержание кальция в крови. Увеличение после ИК облучения концентрации кальция в плазме характерно при энергетической освещенности свыше 350 Вт/м$^2$. ИК излучение также способствует нарушению проницаемости клеточных мембран, что было зарегистрировано по изменению соотношения электролитов в плазме крови. После облучения уменьшается концентрация клеточного калия и натрия.

Выраженность физико-химических процессов (изменение активности свободнорадикальных и антиокислительных систем организма) и тепловых реакций организма зависит от интенсивности и спектрального состава излучения, определяющего глубину проникновения и поглощения структурными элементами тканей. При интенсивности облучения обнаженной поверхности кожи до 175 Вт/м$^2$ создаются предпосылки для денатурации белковых молекул, зависящие как от длины волны, так и от интенсивности. Отмечено наличие денатурационных процессов в молекулах белка в сочетании с нарушением проницаемости клеточных мембран, что, вероятно, может быть причиной изменения мембранного потенциала клеток крови, появления аутоантигенных свойств, что, в свою очередь, может способствовать развитию аутоиммунных процессов. Согласно полученным результатам при интенсивности облучения обнаженной поверхности тела площадью 0,2 м$^2$, равной 70—100 Вт/м$^2$ , преобладает оптимизирующий эффект, сопровождающийся возбуждением свободнорадикальных процессов и высоким уровнем антиоксидантной защиты, а также повышением антимикробной резистентности. При интенсивности облучения 175 Вт/м$^2$ и выше имеет место снижение активности антиоксидантных систем, ферментов, что сопровождается снижением антимикробной резистентности организма. Сердечно-сосудистая система реагирует на инфракрасное облучение учащением сердцебиения, повышением систолического и понижением диастолического артериального давления.

Сложности в оценке интенсивности и нормирования ИК облучения человека, непосредственно связанные с определением фактически поглощенной дозы. Это во многом определяется защитными свойствами одежды, площадью облучаемой поверхности тела и облучаемым участком, геометрическими характеристиками потока падающего излучения и др.

Главную опасность при чрезмерном воздействии ИК излучения представляет термальное поражение сетчатки глаз, а также травма хрусталика глаза, которая может привести к развитию катаракты. В основе действия ИК излучения на органы зрения лежит главным образом тепловой эффект. Применительно к отдельным частям глаза было установлено, что они поглощают различную долю доходящего до них потока излучения, а именно: роговица — 80%, камерная влага — 70%; хрусталик —30%, стекловидное тело — 60%. До сетчатки доходит только излучение спектрального состава от 0,34 до 1,32 мкм. Наиболее частым и тяжелым поражением глаза, вследствие воздействия ИК излучения, является катаракта. Характерной чертой является ее локализация: она всегда начинается в центре задней поверхности хрусталика, затем распространяется на периферию. ИК излу-

чение с длиной волны 0,78—1,4 мкм поглощается в области хрусталика. Критерием для определения степени помутнения хрусталика, вызванного воздействием ИК излучения, является среднее значение энергетической освещенности ИК излучения. Но помутнение хрусталика может быть обусловлено и непосредственно термическим эффектом за короткое время при интенсивном ИК облучении. При энергетической освещенности ИК излучения 2800 Вт/м$^2$ температура конъюнктивы по истечении 5 мин облучения достигает 44,5 °С, передней камеры — 40,5 °С, стекловидного тела — 39,0 °С. Температура, превышающая 45 °С, способна вызвать коагуляцию белков. При облучении длинноволновым ИК излучением повышение температуры конъюнктивы выражено сильнее, чем при коротковолновом ИК излучении. Передняя камера глаза, напротив, нагревается в большей степени при облучении коротковолновым ИК излучением. Коротковолновое ИК излучение глубоко проникает в глазные среды, а длинноволновое — поглощается поверхностными тканями. Таким образом, имеющиеся в настоящее время данные свидетельствуют о неблагоприятном биологическом действии ИК излучения на организм человека, что определяет необходимость его регламентации. Особое внимание при этом должно быть уделено защите глаз.

Диапазон адаптации глаза настолько велик, что он может функционировать как при очень высоких, так и при очень низких уровнях освещенности, однако в последнем случае поток информации из внешнего мира не полон, качество, скорость и продолжительность выполнения зрительной работы ограничены. Уровень зрительных функций изменяется в процессе выполнения зрительной работы различной степени сложности и точности. Эти изменения тем значительнее, чем при более неблагоприятных условиях освещения производится эта зрительная работа.

Плохая световая обстановка в сочетании с высокой зрительной нагрузкой способствует не только повышению утомления зрительного анализатора, ведущего к снижению работоспособности и производительности труда, но и к развитию аномалии зрения — миопии. В литературе практически отсутствуют работы, посвященные вопросам нормирования освещения для людей старше 40—45 лет, имеющих дальнозоркость. Вместе с тем, нагрузка на зрительный анализатор людей всех возрастных групп с каждым годом растет. К типичным проявлениям физиологического старения глаза относится уменьшение диапазона аккомодации (пресбиопия и медленное ослабление оптической силы глаза в связи с изменениями в хрусталике и уменьшением его эластичности).

При одинаковых условиях работы пресбиопия возникает раньше у лиц, деятельность которых связана с рассматриванием мелких объектов, особенно при малом контрасте их с фоном.

При высоких уровнях освещенности зрительная работа выполняется в полном объеме, так как в процесс зрения вовлекаются основные наиболее эффективные функции зрительного анализатора. Зрачковый и аккомодационный рефлексы имеют единую рефлексогенную зону, которой является сетчатка. При высоких уровнях яркости, при которых зрачок уменьшается, увеличение оптической силы глаза обеспечивается за счет зрачка. При этом зрительный анализатор может четко воспринимать предметы любого размера как далеко, так и близко расположенные без напряжения аккомодации. С уменьшением яркости зрачок для поддержания освещенности сетчатки на оптимальном уровне расширяется до определенных пределов, и в усилении оптической силы глаза принимает участие и зрачок, и хрусталик. При дальнейшем уменьшении яркости поля адаптации и увеличении размеров зрачка усиление оптической силы глаза осуществляется преимущественно хрусталиком.

В широком диапазоне яркостей благодаря наиболее быстрым процессам пупилломоторной адаптации, т.е. в результате изменения диаметра зрачка от 8 мм до 2 мм и менее, уровень освещенности сетчатки при покое аккомодации остается постоянным и равным 6,0—6,5 лк. Уровни яркости этого диапазона (от 50 до 500 кд/м$^2$ и более) оцениваются как оптимальные.

Выполнение зрительной работы при оптимальном уровне яркости может осуществляться в течение длительного времени. При этом основная функция — острота зрения — остается постоянной и наивысшей.

Однако не все виды зрительных работ могут быть выполнены при любом уровне яркости рабочей зоны. Чем сложнее работа, т.е. чем меньше размер объекта различения, тем выше должна быть оптимальная яркость рассматриваемого объекта.

Для выполнения той или иной зрительной работы существует определенный (максимально допустимый) размер зрачка и, соответственно, определяемая оптическими свойствами глаза и сложностью зрительной работы зона оптимальной яркости.

Выполнение зрительной работы при яркости ниже оптимального значения приводит к тому, что на сетчатку попадает недостаточное количество света и для восприятия объекта различения мобилизуются биохимические и ретиномоторные процессы адаптации при одновременном напряжении аккомодации. Это приводит к зрительному и общему утомлению тем быстрее, чем ниже уровень яркости объекта и меньше его размер.

Максимальная разрешающая способность глаза — острота зрения — наблюдается при размере зрачка 3 мм и менее. Такой размер зрачка при покое аккомодации имеет место при яркости адаптации 500—1000 кд/м$^2$ и более. В этом диапазоне яркости зрительный анализатор может выполнять любую (в пределах разрешающей способности глаза) по точности зрительную работу, и на сетчатку благодаря процессу пупилломоторной адаптации будет падать постоянное оптимальное количество света. Таким образом, уровень 500 кд/м$^2$ является тем оптимальным уровнем яркости, при котором может выполняться зрительная работа как высокой точности, так и не очень.

Критерием оценки слепящего действия прямой блескости является показатель ослепленности или показатель дискомфорта. Исключение прямой блескости обеспечивается использованием источников света в специальной осветительной арматуре ( не допускается использование открытых ламп), применением светильников с экранирующими отражателями и рассеивателями, соблюдением высоты подвеса светильников. Большое значение для ограничения ослепленности, создаваемой светильниками, имеет защитный угол, образуемый отражателями и экранами (в светильниках с люминесцентными лампами — планками экранирующей решетки).

К вредным факторам искусственного освещения газоразрядными источниками света относится пульсация освещенности – изменение освещенности во времени, обусловленное малой инерционностью излучения газоразрядных ламп, световой поток которых пульсирует с удвоенной частотой переменного тока 100 Гц. Пульсации освещенности не различаются при фиксировании глазом неподвижных объектов, но проявляются при рассматривании движущихся предметов, которые приобретают при этом многократные контуры. При этом также возникает иллюзия искажения характера движения предметов. Явление искажения восприятия движущихся объектов при освещении пульсирующим светом называется стробоскопическим эффектом; он может явиться причиной травм. Критерием оценки относительной глубины колебаний освещенности является коэффициент пульсации освещенности.

## 2.3. Нормирование характеристик оптического излучения

Нормы, регламентирующие характеристики оптического излучения, основаны на использовании новейших результатов, полученных в области физики, медицины и технических наук. В разработке норм принимают участие организации, ответственные за обеспечение достоверности измерений, качества и характеристик продукции,

технические комитеты, ответственные за разработку стандартов в области оптического излучения и безопасности использования источников излучения (международные, региональные и национальные организации, такие как Международная электротехническая комиссия (МЭК, *IEC*), Международная организация по стандартизации (ИСО, *ISO*), Международная комиссия по освещенности (МКО, *CIE*) и др).

Рассмотрение социальных, политических и экономических аспектов реализации программ защиты от оптического излучения находится в компетенции национальных правительств.

На базе основных принципов защиты от оптического излучения разрабатываются руководящие документы для международных, региональных, национальных организаций, а также отдельных экспертов, которые ответственны за разработку законов, инструкций, рекомендаций, кодексов по защите населения.

При разработке стандартов на оптическое излучение требуется всесторонняя глубокая оценка данных, опубликованных в научной литературе, с точки зрения санитарно-гигиенических критериев оценки воздействия оптического излучения на организм человека. При оценке опасности для здоровья следует принимать во внимание только те экспериментальные результаты, которые удовлетворяют следующим условиям:

имеется полное медико-биологическое описание методики эксперимента;

все данные подвергнуты анализу и являются объективными;

результаты показывают высокий уровень статистической значимости;

результаты имеют подтверждение из независимых источников, могут быть воспроизведены в независимых лабораториях.

Анализ современного уровня знаний о неблагоприятных последствиях воздействия оптического излучения и проблемах, обусловленных сложностью определения индивидуальной дозы оптического излучения, позволяет разработать программу защиты от оптического излучения, основанную на следующих принципах:

обеспечение адекватной защиты населения;

согласование ограничительных норм на оптическое излучение со стандартами на источнки оптического излучения.

Нормы профессионального облучения персонала могут отличаться от норм для населения.

В бытовых условиях допустимая освещенность УФ-В излучения не должна превышать 1,9 Вт/м$^2$, а УФ-А — 10 Вт/м$^2$ [ 10 ]. Освещенность от экранов телевизоров, мониторов, измерительных приборов в бы-

товых условиях и т.п. в зоне УФ-В не должна превышать 0,1 мВт/м$^2$, в зоне УФ-А — 0,1 Вт/м$^2$. Излучение в зоне УФ-С не допускается.

Критерием нормирования допустимой интенсивности ИК облучения поверхности тела человека послужили данные относительного допустимого биологического действия — иммуннорезистентности.

Допустимый уровень ИК излучения в бытовых условиях в диапазоне 0,76—1000 мкм определяется нормами [10] . Максимальный уровень освещенности ИК излучения не должен превышать 100 Вт/м$^2$. В бытовых условиях освещенность в ближнем ИК диапазоне (0,76—1,05 мкм) от телевизоров, мониторов и других средств визуального отображения информации не должна превышать 50 мВт/м$^2$, а в дальнем ИК диапазоне (свыше 1,05 мкм) — не должна превышать 4 Вт/м$^2$.

Уровни освещенности и яркости оптического излучения и качественные характеристики освещения регламентируются СНиП 23-05—95. «Естественное и искусственное освещение» [13]. Нормы искусственного освещения по СНиП 23-05—95 устанавливают наименьшую освещенность в зависимости от минимального либо эквивалентного размера объекта различения (для протяженных объектов, имеющих отношение длины к ширине более 2), контраста объекта с фоном и характеристики фона. Необходимый уровень освещенности тем выше, чем темнее фон, меньше размер детали и контраст объекта с фоном.

Достаточность уровней естественной освещенности помещений регламентируется минимальным значением коэффициента естественной освещенности при системе бокового освещения и средним значением коэффициента естественной освещенности при системах верхнего и комбинированного освещения. В небольших помещениях при одностороннем боковом естественном освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной поверхности на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов; при двухстороннем боковом освещении — в точке посередине помещения. Неравномерность естественного освещения помещений с верхним или комбинированным естественным освещением не должна превышать 3 : 1.

Качественные показатели освещения — показатель ослепленности и коэффициент пульсации освещенности регламентируются СНиП 23-05—95. Регламентируемый показатель ослепленности составляет: 20—40. Максимально допустимый коэффициент пульсации освещенности равен 10% — 20%.

## 2.4. Приборы и методы измерений характеристик оптического излучения

Определение характеристик оптического излучения проводится в соответствии с формулами (2.1—2.17), описывающими измеряемые величины и требования к спектральной чувствительности радиометров, спектрорадиометров, люксметров, яркомеров и других средств измерений (СИ). Степень приближения реальной относительной спектральной чувствительности СИ к идеальной определяется по критериям, разработанным в рекомендациях МКО [17], и определяет соответствующую составляющую погрешности СИ характеристик оптического излучения.

В простейшем случае при измерении ЭО измерительный преобразователь радиометра устанавливается в рабочую точку поверхности, косинусная насадка ориентируется параллельно облучаемой поверхности и отсчитываются прямые показания радиометра в ваттах на квадратный метр ($Вт/м^2$). Трудности и возможные неопределенности результатов измерений связаны с учетом необходимой спектральной и угловой коррекции чувствительности радиометра. Необходимо также, чтобы значения измеряемой энергетической освещенности не выходили за пределы диапазона линейности радиометра. Поэтому паспортные характеристики радиометра должны обязательно указывать не только верхнюю, но и нижнюю границу рабочего диапазона.

Погрешность спектральной коррекции радиометра $\Theta_1$, вызванную отклонением относительной спектральной чувствительности $S_\lambda$ поверяемого радиометра (спектрорадиометра), дозиметра оптического излучения от стандартной $S^{ст}$ $(\lambda)$ определяют по формуле

$$\Theta_1 = 100\left|\frac{\int_{0,2}^{1,1} E(\lambda)\cdot S(\lambda)\,d\lambda \cdot \int_{0,2}^{1,1} E^{ст}(\lambda)\cdot S^{ст}(\lambda)\,d\lambda}{\int_{0,2}^{1,1} E(\lambda)\cdot S^{ст}(\lambda)\,d\lambda \cdot \int_{0,2}^{1,1} E^{ст}(\lambda)\cdot S(\lambda)\,d\lambda} - 1\right|, \qquad (2.18)$$

где $E(\lambda)$ — относительная спектральная плотность энергетической освещенности контрольных источников УФ излучения;

$E^{ст}$ $(\lambda)$ — относительная спектральная плотность энергетической освещенности стандартного источника УФ излучения.

Для определения возможности применения радиометра для каждого диапазона длин волн, например УФ-А, УФ-В, УФ-С, специальными нормативными документами установлен перечень конт-

рольных и стандартных источников излучения. Расчет $\Theta_1$ рекомендуется выполнять с использованием специально разработанных компьютерных программ. Значение погрешности спектральной коррекции $\Theta_1$ радиометра не должно превышать 4—8%.

Угловая зависимость чувствительности идеального радиометра от угла падения излучения φ должна соответствовать функции cosφ.

Косинусную погрешность радиометра $\Theta_4$, выраженную в процентах, рассчитывают по формуле

$$\Theta_4 = \int_0^{85^\circ} |f(\varphi)| \sin 2\varphi d\varphi. \qquad (2.19)$$

Значение $\Theta_4$ рассчитывают с использованием специальных компьютерных программ. Оно не должно превышать 2 %. При превышении указанных значений косинусной погрешности допускается ограничивать угол зрения радиометра (спектрорадиометра, дозиметра) УФ излучения с указанием в паспорте радиометра значений половинного угла зрения $\varphi_m$ и поправочных коэффициентов, учитывающих угловые размеры излучателя. В этом случае косинусную погрешность $\Theta_4$ рассчитывают по формуле:

$$\Theta_4 = \frac{\int_0^{\varphi_m} f(\varphi) \cos^2 \varphi \sin \varphi d\varphi}{\int_0^{\varphi_m} \cos^2 \varphi \sin \varphi d\varphi} \qquad (2.20)$$

Спектрорадиометры оптического излучения позволяют получать наиболее полную информацию об энергетических и эффективных характеристиках световой среды. Наиболее важной проблемой при использовании спектрорадиометров является оценка уровня рассеянного света, которая проводится при поверке прибора.

Наиболее распространенными и доступными приборами являются люксметры, предназначенные для определения освещенности оптического излучения. Требования к спектральной коррекции чувствительности фотометров определяются в соответствии с рекомендациями МКО с использованием табулированных спектров пяти контрольных источников излучения, значения относительной спектральной освещенности $E_\lambda$ которых приведены в табл. 2.4.

Требования к угловой коррекции чувствительности люксметров определяют формулой (2.19). При этом погрешность угловой коррекции не должна превышать 3—5 %.

Таблица 2.4

**Значения относительной спектральной освещенности $E_\lambda$ контрольных излучателей, рекомендуемых МКО [17] для контроля фотометров**

| Длина волны, нм | Трехполосные люминесцентные лампы | Ртутные лампы высокого давления | Натриевые лампы высокого давления | Металлогалогенные лампы с тремя добавками | Металлогалогенные лампы с редкоземельными добавками |
|---|---|---|---|---|---|
| 380 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0107 | 0,0294 | 0,4524 |
| 390 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0139 | 0,0290 | 0,5255 |
| 400 | 0,0116 | 0,0483 | 0,0186 | 0,0884 | 0,6108 |
| 410 | 0,0117 | 0,0734 | 0,0227 | 0,1534 | 0,7401 |
| 420 | 0,0136 | 0,0167 | 0,0275 | 0,2969 | 0,8115 |
| 430 | 0,0262 | 0,0437 | 0,0344 | 0,1975 | 0,7448 |
| 440 | 0,0527 | 0,1865 | 0,0418 | 0,2472 | 0,7430 |
| 450 | 0,0313 | 0,0178 | 0,0583 | 0,1822 | 0,6845 |
| 460 | 0,0277 | 0,0129 | 0,0338 | 0,2153 | 0,8092 |
| 470 | 0,0241 | 0,0137 | 0,0961 | 0,1794 | 0,7703 |
| 480 | 0,0390 | 0,0133 | 0,0178 | 0,1550 | 0,7720 |
| 490 | 0,1424 | 0,0244 | 0,0201 | 0,1650 | 0,7158 |
| 500 | 0,0373 | 0,0096 | 0,2210 | 0,2328 | 0,7506 |
| 510 | 0,0081 | 0,0093 | 0,0258 | 0,1625 | 0,7361 |
| 520 | 0,0044 | 0,0089 | 0,0371 | 0,1938 | 0,7053 |
| 530 | 0,0096 | 0,0124 | 0,0123 | 0,4400 | 0,6920 |
| 540 | 0,4473 | 0,0293 | 0,0166 | 1,0000 | 0,7546 |
| 550 | 0,3301 | 0,4138 | 0,0617 | 0,3178 | 0,9113 |
| 560 | 0,0466 | 0,0213 | 0,1371 | 0,2044 | 0,7425 |
| 570 | 0,0383 | 0,0177 | 0,8390 | 0,4428 | 0,8219 |
| 580 | 0,1557 | 1,0000 | 0,6659 | 0,3656 | 1,0000 |
| 590 | 0,1691 | 0,0449 | 0,9976 | 0,7969 | 0,8498 |
| 600 | 0,1344 | 0,0231 | 1,0000 | 0,7094 | 0,8538 |
| 610 | 1,0000 | 0,0608 | 0,4785 | 0,5897 | 0,7976 |
| 620 | 0,1512 | 0,3863 | 0,3434 | 0,2944 | 0,8132 |
| 630 | 0,2073 | 0,0358 | 0,1751 | 0,2088 | 0,7488 |
| 640 | 0,0238 | 0,0162 | 0,1354 | 0,2200 | 0,6943 |
| 650 | 0,0526 | 0,0251 | 0,1107 | 0,1909 | 0,6311 |
| 660 | 0,0142 | 0,0156 | 0,0959 | 0,2022 | 0,6758 |
| 670 | 0,0155 | 0,0126 | 0,0959 | 0,5203 | 0,8121 |
| 680 | 0,0167 | 0,0091 | 0,0749 | 0,2503 | 0,6729 |
| 690 | 0,0182 | 0,0347 | 0,0468 | 0,1413 | 0,6427 |
| 700 | 0,0200 | 0,1308 | 0,0386 | 0,1163 | 0,7448 |
| 710 | 0,0889 | 0,0243 | 0,0359 | 0,1066 | 0,4107 |
| 720 | 0,0000 | 0,0068 | 0,0338 | 0,1028 | 0,4142 |
| 730 | 0,0000 | 0,0077 | 0,0325 | 0,0828 | 0,4310 |
| 740 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0320 | 0,0963 | 0,3254 |

*Окончание табл. 2.4*

| Длина волны, нм | Трехполосные люминесцентные лампы | Ртутные лампы высокого давления | Натриевые лампы высокого давления | Металлогалогенные лампы с тремя добавками | Металлогалогенные лампы с редкоземельными добавками |
|---|---|---|---|---|---|
| 750 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0344 | 0,0956 | 0,3173 |
| 760 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0431 | 0,1428 | 0,4391 |
| 770 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0780 | 0,3238 | 0,4078 |
| 780 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0349 | 0,1275 | 0,3382 |
| 790 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0350 | 0,0916 | 0,3469 |
| 800 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0423 | 0,0878 | 0,5186 |

Определение коррекции спектральной чувствительности яркомеров проводится так же, как и для люксметров. Наиболее важной характеристикой яркомеров при измерении показателей ослепленности и дискомфорта является угол зрения, определяющий угловое разрешение прибора. Разработанные в последние годы приборы позволяют контролировать все характеристики световой среды в соответствии с требованиями нормативных документов. Измерение энергетической освещенности УФ излучения в диапазонах УФ-А, УФ-В и УФ-С, определение опасной и эритемной освещенности УФ излучения возможно только с применением многоканальных универсальных радиометров. Применение одноканальных УФ радиометров допустимо в отдельных случаях для измерения характеристик узкого класса источников УФ излучения.

Методики выполнения измерений разрабатываются и применяются в соответствии с Законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» и включают совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной погрешностью.

Разработка методики выполнения измерений включает:

выбор метода и средств измерений;

установление последовательности и содержания операций при подготовке и выполнении измерений, обработку результатов измерений;

установление требований к погрешности измерений.

Аттестацию методик выполнения измерений, применяемых в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора, проводят организации, аккредитованные в соответствии с ПР 50.2.013—94. Ниже в качестве примера приведена методика выполнения измерений энергетической освещенности УФ излучения бытовых соляриев.

### 2.4.1. Методика выполнения измерений характеристик УФ излучения соляриев

#### 1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая методика выполнения измерений (далее — МВИ) распространяется на измерение характеристик УФ излучения соляриев с помощью радиометров (спектрорадиометров) непрерывного оптического излучения. Солярии представляют собой искусственные источники ультрафиолетового (далее — УФ) излучения, применяемые для компенсации недостатка УФ излучения, а также для получения быстрого и безопасного загара. В качестве источников УФ излучения (далее — УФ облучатели) используют люминесцентные лампы, спектр излучения которых лежит в диапазоне длин волн 0,28—0,40 мкм. Излучение соляриев характеризуется энергетической освещенностью (далее — ЭО) в диапазонах длин волн УФ-А1, (0,315—0,340) мкм, УФ-А2 (0,34—0,40) мкм, УФ-А (0,315—0,400) мкм, УФ-В (0,28—0,315) мкм, УФ-С (0,2—0,28) мкм. Для образования загара в спектре излучения соляриев должно присутствовать излучение диапазонов длин волн УФ-А1, УФ-А2 и УФ-В. Присутствие в спектре излучения диапазона длин волн УФ-В должно быть строго ограничено, чтобы исключить опасное воздействие на организм человека жесткого УФ излучения. Присутствие в спектре излучения диапазона длин волн УФ-С в соляриях не допускается. При разработке и использовании соляриев необходимо контролировать характеристики УФ излучения в соответствии с нормами и рекомендациями. Средства измерений характеристик оптического излучения соляриев обеспечивают измерение ЭО в следующих диапазонах длин волн, $Вт/м^2$,

УФ-А1 — 0,1—50,0;
УФ-А2 — 0,1—200,0;
УФ-А — 0,1—250,0;
УФ-В — 0,01—5,0;
УФ-С — 0,001—1,0.

#### 2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 8.195—89 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения и спектральной плотности энергетичес-

кой освещенности в диапазоне длин волн 0,25÷25,00 мкм; силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн 0,2÷25,0 мкм»;

ГОСТ 8.197—86 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости оптического излучения в диапазоне длин волн 0,04—0,25 мкм»;

ГОСТ 8.207—76 «Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения»;

ГОСТ 8.552—2001 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений потока излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,03 до 0,4 мкм»;

СанПиН 4557—88 «Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях».

## 3 ТРЕБОВАНИЯ К ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Предел допускаемой погрешности измерений ЭО соляриев по данной МВИ составляет 10 %.

Должны использоваться:

а) радиометры УФ излучения УФ-А (УФ-А1 и УФ-А2) «Аргус-04», УФ-В «Аргус-0,5», УФ-С «Аргус-06» или другой УФ радиометр (спектрорадиометр) со следующими характеристиками:

| | |
|---|---|
| диапазон длин волн, мкм . . . . . | 0,2—0,4 |
| диапазон измерений энергетической освещенности, Вт/м$^2$ | 0,001—200,0 |
| основная относительная погрешность, % . . . . . | 10,0; |

б) комплект светофильтров типов УФС-1, ЖС-16 и БС-8;

в) кварцевый нейтральный ослабитель.

Применяемые средства измерений должны быть поверены органами Госстандарта России.

## 4 МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

Метод измерений характеристик оптического излучения соляриев основан на прямых измерениях при преобразовании потока УФ излучения в электрический сигнал радиометра (спектрорадиометра) при выполнении условий спектральной и угловой коррекции чувствительности фотопреобразователя. Радиометр (спектрорадиометр) оптического излучения соляриев должен быть поверен в качестве средства измерений энергетической и эффективной освещенности непрерывного УФ излучения в соответствии с ГОСТ 8.552, ГОСТ 8.197 и ГОСТ 8.195.

## 5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Измерения характеристик оптического излучения соляриев могут проводить операторы, прошедшие инструктаж по безопасности труда при работе с источниками УФ излучения в соответствии с требованиями СанПиН 4557 и правилами использования средств защиты персонала от УФ излучения — защитных очков, щитков, перчаток.

## 6 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРОВ

К выполнению измерений допускают лиц, изучивших инструкции по эксплуатации основных средств измерений и вспомогательных устройств, требования настоящей МВИ, а также прошедших инструктаж по безопасности труда при эксплуатации УФ облучателей.

## 7 УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

При выполнении измерений соблюдают следующие условия:

| | |
|---|---|
| температура окружающего воздуха, °С | +10...+35 |
| относительная влажность воздуха при температуре 20 °С, % | 80 |
| атмосферное давление, кПа | 84...104. |

## 8 ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

При подготовке к проведению измерений выполняют следующие работы:

8.1 Включают и подготавливают к работе радиометр (спектрорадиометр) и солярий в соответствии с их инструкциями по эксплуатации.

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

## 9 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

9.1 Для измерения ЭО оптического излучения соляриев:

9.1.1 Устанавливают измерительный блок радиометра (спектрорадиометра) в рабочую точку облучаемой поверхности в центре солярия. Косинусную насадку измерительного блока радиометра (спектрорадиометра) ориентируют параллельно облучаемой поверхности.

9.1.2 Определяют угловые размеры солярия — горизонтальный угол $\varphi$ и вертикальный угол $\psi$ (в градусах, °):

$$\varphi = arctg\ (L/R),$$

$$\psi = arctg\ (H/R)\ ,$$

где $L$ — длина солярия, мм;

$H$ — ширина солярия, мм;

$R$ — расстояние от измерительного блока радиометра (спектрорадиометра) до центра медицинского облучателя, мм.

9.1.3 Включают и прогревают в течение 10 мин солярий.

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

9.1.5 Регистрируют показания каналов радиометра (спектрорадиометра) $i_{A1}$, $i_{A2}$, $i_A$, $i_B$, $i_C$ и определяют интегральную ЭО $E_{i\,(A1)}$, $E_{i\,(A2)}$, $E_{i\,(A)}$, $E_{i\,(B)}$, $E_{i(C)}$ (в ваттах на квадратный метр, Вт/м$^2$) УФ излучения в диапазонах, соответственно, УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, УФ-В, УФ-С.

9.1.6 Для оценки погрешности измерений ЭО, обусловленной влиянием потока инфракрасного излучения, устанавливают на измерительный блок радиометра (спектрорадиометра) светофильтр типа ЖС-16. Показания радиометра (спектрорадиометра) не должны превышать 3 % от значений ЭО, полученных по 9.1.5. Если показания превышают установленное значение, необходимо провести ремонт и повторную поверку радиометра (спектрорадиометра).

9.1.7 Устанавливают на измерительный блок радиометра (спектрорадиометра) светофильтр типа БС-8, измеряют сигналы $j_{A1}$, $j_{A2}$, $j(\lambda)$, $j_B$, $j_C$ (в вольтах, В) и определяют интегральную ЭО $E_{j\,(A1)}$, $E_{j\,(A2)}$, $E_{j\,(A)}$, $E_{j\,(B)}$, $E_{j\,(C)}$ (в ваттах на квадратный метр, Вт/м$^2$) излучения солярия в диапазонах, соответственно, УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, УФ-В и УФ-С.

9.1.8 По результатам измерений угловых размеров солярия выбирают относительный коэффициент угловой коррекции $K(\varphi, \psi)$, приведенный в паспорте радиометра (спектрорадиометра).

9.1.9 Значения ЭО соляриев в диапазонах УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, УФ-В и УФ-С рассчитывают по формулам

$$E_{A1} = (E_{i\,(A1)} - E_{j\,(A1)})\, K(\varphi, \psi) / K\tau_{A1},$$
$$E_{A2} = (E_{i\,(A2)} - E_{j\,(A2)})\, K(\varphi, \psi) / K\tau_{A2},$$
$$E_A = (E_{i\,(A)} - E_{j\,(A)})\, K(\varphi, \psi) / K\tau_A,$$
$$E_B = (E_{i\,(B)} - E_{j\,(B)})\, K(\varphi, \psi) / K\tau_B,$$
$$E_C = (E_{i\,(C)} - E_{j\,(C)})\, K(\varphi, \psi) / K\tau_C,$$

$K\tau_{A1}$, $K\tau_{A2}$, $K\tau_A$, $K\tau_B$, и $K\tau_C$ – интегральные коэффициенты пропускания кварцевого нейтрального ослабителя в диапазонах, соответственно, УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, УФ-В и УФ-С, указанные в паспорте на ослабитель.

9.2 Для определения эритемной и опасной эффективной освещенности $E_{eff}$ выполняют следующие операции:

9.2.1 Регистрируют сигналы каналов спектрорадиометра $i(\lambda)$ и $j(\lambda)$ (в ваттах на кубический метр, Вт/м$^3$) аналогично пп. 10.1.5 и 10.1.7 и определяют значения спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) $E(\lambda)$ (в ваттах на кубический метр, Вт/м$^3$) по формуле

$$E(\lambda) = [i(\lambda) - j(\lambda)]\ K(\varphi, \psi) / K\tau,$$

$\lambda$ – длина волны, мкм.

9.2.2 Значения опасной и эритемной эффективной освещенности $E_{eff\ (TLV)}$ и $E_{eff(ER)}$ рассчитывают интегрированием СПЭО с учетом табулированных спектральных коэффициентов относительной опасной эффективности УФ излучения $K_{eff(TLV)}(\lambda)$ и $K_{eff(ER)}(\lambda)$ по формулам:

$$E_{eff(TLV)} = 10^{-6} \int_{0,2}^{0,4} E(\lambda) K_{eff(TLV)}(\lambda) d\lambda,$$

$$E_{eff(ER)} = 10^{-6} \int_{0,2}^{0,4} E(\lambda) K_{eff(ER)}(\lambda) d\lambda.$$

Значения $K_{eff(TLV)}(\lambda)$ и $K_{eff(ER)}(\lambda)$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Значения спектральных коэффициентов относительной эффективности $K_{eff(TLV)}(\lambda)$ и $K_{eff(ER)}(\lambda)$, учитывающих опасное воздействие УФ излучения по критерию TLV и эритемное воздействие УФ излучения**

| Длина волны, нм | $K_{eff(TLV)}(\lambda)$ | $K_{eff(ER)}(\lambda)$ | Длина волны, нм | $K_{eff(TLV)}(\lambda)$ | $K_{eff(ER)}(\lambda)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 0,030 | 1,000 | 285 | 0,770 | 1,000 |
| 205 | 0,051 | 1,000 | 290 | 0,640 | 1,000 |
| 210 | 0,075 | 1,000 | 295 | 0,540 | 1,000 |
| 215 | 0,095 | 1,000 | 300 | 0,300 | 1,000 |
| 220 | 0,120 | 1,000 | 305 | 0,060 | 0,680 |
| 225 | 0,150 | 1,000 | 310 | 0,015 | 0,280 |
| 230 | 0,190 | 1,000 | 315 | 0,003 | 0,069 |
| 235 | 0,240 | 1,000 | 320 | 0,001 | 0,021 |
| 240 | 0,300 | 1,000 | 325 | 0,000 | 0,011 |
| 245 | 0,360 | 1,000 | 330 | 0,000 | 0,008 |
| 250 | 0,430 | 1,000 | 335 | 0,000 | 0,005 |
| 255 | 0,520 | 1,000 | 340 | 0,000 | 0,004 |
| 260 | 0,650 | 1,000 | 345 | 0,000 | 0,002 |
| 265 | 0,810 | 1,000 | 350 | 0,000 | 0,001 |
| 270 | 1,000 | 1,000 | 355 | 0,000 | 0,001 |
| 275 | 0,960 | 1,000 | 360 | 0,000 | 0,000 |
| 280 | 0,880 | 1,000 | | | |

$$E(\lambda) = [I(\lambda) - J(\lambda)]\ K(\varphi, \psi) / K\tau,$$

где $I(\lambda) - J(\lambda)$ – сигналы (в ваттах на квадратный метр, Вт/м$^2$) многоканального радиометра (спектрорадиометра) , определяемые соответственно по 9.1.5 и 9.1.8.

## 10 КОНТРОЛЬ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Контроль погрешности результатов измерений проводят в следующем порядке:

10.1 Рассчитывают по результатам измерений относительную случайную погрешность результата измерений ЭО и ЭЭ - $S_o$, (в %), по формуле

$$S_o = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{E}-E_i\right)^2\right]^{1/2}}{\overline{E}\left[n(n-1)\right]^{1/2}},$$

где $E_i$ — результат $i$ -го независимого измерения;

$\overline{E}$ — среднее арифметическое $n$ измерений;

10.2 Границу относительной неисключенной систематической погрешности $\Theta_o$ определяют по формуле

$$\Theta_o = 1{,}1\left(\sum_{1}^{3}\Theta_i^2\right)^{1/2},$$

$\Theta_i$ — оценка составляющей неисключенной систематической погрешности.

Источниками неисключенной систематической погрешности являются:

$\Theta_1$ — погрешность рабочего средства измерений (из свидетельства о поверке); $\Theta_1$ не превышает 10 %;

$\Theta_2$ — погрешность определения интегрального сигнала $I_A$- $J_A$, $I_B$ - $J_B$, $I_C$ - $J_C$, (в Вт/м$^2$), пропорционального ЭО ультрафиолетового излучения в диапазоне, соответственно, УФ-А, УФ-В и УФ-С; $\Theta_2$ не превышает 3 %;

$\Theta_3$ — погрешность определения относительного коэффициента угловой коррекции; $\Theta_3$ не превышает 2 %.

10.3 Предел допускаемой основной относительной погрешности $\Delta_o$ результатов измерений рассчитывают по формуле

$$\Delta_o = K\left(\sum_{i=1}^{3}\Theta_i^2 / 3 + S_o^2\right)^{1/2},$$

где $K$ — коэффициент, определяемый соотношением случайной и неисключенной систематической погрешностей.

Так как $\Theta_o > 8S_o$, то случайной погрешностью по сравнению с систематической пренебрегают и $\Delta_o = \Theta_o$.

### 11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

11.1 Результаты измерений оформляются по форме, принятой на предприятии, проводящем измерения.

11.2 Запись о результатах измерений должна содержать:

дату проведения измерений;
тип и номер средства измерений (радиометра или спектрорадиометра);
цель проведения измерений;
геометрические размеры солярия;
расстояние от центра солярия до радиометра (спектрорадиометра);
угловые размеры солярия;
значения сигналов $I_c$ и $J_c$ радиометра (спектрорадиометра);
значения ЭО, средней ЭО, эффективной освещенности, средней импульсной освещенности, полного потока излучения;
значения неисключенной систематической погрешности, предела допускаемой погрешности;
фамилию и подпись оператора.

## 2.5. Метрологическое обеспечение измерений характеристик оптического излучения

Метрологическое обеспечение измерений характеристик оптического излучения базируется на комплексе государственных эталонов и нормативных документов, регламентирующих порядок передачи размеров единиц величин от этих эталонов к рабочим средствам измерений с помощью рабочих эталонов, разработанных в ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений».

Согласно закону Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» определение соответствия характеристик оптического излучения требованиям нормативных документов относится к сфере государственного метрологического контроля и надзора. Это означает, что используемые при этих измерениях средства измерений должны пройти испытания для целей утверждения типа, внесены в Государственный реестр, т. е. должны иметь сертификат об утверждении типа средств измерений. В [28] приведен перечень СИ характеристик оптического излучения, прошедших испытания, внесенных в Госреестр СИ и допущенных к обращению в стране.

Приборы должны быть поверены согласно утвержденной методике поверки на соответствующих эталонах. В качестве примера ниже приведена методика поверки средств измерений характеристик УФ

излучения соляриев, где, в частности, содержатся ссылки на соответствующие нормативно-технические документы (национальные стандарты, санитарные правила и нормы, правила по метрологии).

### 2.5.1. Средства измерений характеристик ультрафиолетового излучения соляриев

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

**1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

Настоящая методика распространяется на средства измерений характеристик оптического излучения соляриев — радиометры (спектрорадиометры) непрерывного оптического излучения, основанные на использовании фотодиодов, вакуумных фотоэлементов, других фотопреобразователей, область спектральной чувствительности которых ограничена диапазоном длин волн от 0,2 до 1,1 мкм. Солярии представляют собой искусственные источники ультрафиолетового (УФ) излучения, применяемые для компенсации недостатка УФ излучения, а также для получения быстрого и безопасного загара. В качестве источников УФ излучения используются люминесцентные лампы, спектр воздействия которых ограничен диапазоном длин волн от 0,28 до 0,4 мкм. Излучение соляриев характеризуется энергетической освещенностью в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, УФ-В, УФ-С. Основной вклад в образование загара вносит излучение диапазонов длин волн УФ-А1, УФ-А2. Присутствие в спектре излучения диапазона длин волн УФ-В необходимо для возникновения загара и строго ограничивается для исключения опасного воздействия на организм человека жесткого УФ излучения. Присутствие в спектре излучения диапазона длин волн УФ-С в соляриях не допускается. При разработке и использовании соляриев необходимо контролировать характеристики УФ излучения в соответствии с нормами и рекомендациями [2—6]. Средства измерений характеристик оптического излучения соляриев обеспечивают измерения энергетической освещенности (ЭО) в диапазонах длин волн:

УФ-А1 (0,315—0,34) мкм в диапазоне ЭО от 0,1 до 50 Вт/м$^2$,
УФ-А2 (0,34—0,40) мкм в диапазоне ЭО 0,1—200 Вт/ м$^2$,
УФ-А (0,315—0,40) мкм в диапазоне ЭО 0,1—250 Вт/ м$^2$,
УФ-В (0,28—0,315) мкм в диапазоне ЭО 0,01—5 Вт/ м$^2$,
УФ-С (0,20—0,28) мкм в диапазоне ЭО 0,001—1 Вт/м$^2$.

Методы оценки погрешностей радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев, приведенные в настоящей методике, соответствуют рекомендациям Международной комиссии по освещению (МКО) № 53.

Настоящая методика поверки распространяется на радиометры (спектрорадиометры), используемые для измерения характеристик оптического излучения соляриев. Для средств измерений характеристик оптического излучения соляриев устанавливается межповерочный интервал один год.

## 2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

ГОСТ 8.195—89 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения и спектральной плотности энергетической освещенности в диапазоне длин волн 0,25÷25,00 мкм; силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн 0,2÷25,0 мкм»;

ГОСТ 8.207—76 «Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения»;

ГОСТ 8.552—2001 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений потока излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,03 до 0,4 мкм»;

СанПиН 001—96 «Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях»;

ПР 50.2.006—94 «Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерений»;

ПР 50.2.012—94 «Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок аттестации поверителей средств измерений»;

СанПиН 4557—88. «Санитарные нормы УФ излучения в производственных помещениях».

## 3 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ РАДИОМЕТРОВ (СПЕКТРОРАДИОМЕТРОВ) ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛЯРИЕВ

Методика поверки радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев в соответствии с требованиями ПР 50.2.006 включает операции, указанные в табл. 1

Таблица 1

| Наименование операции | Номер пункта настоящих рекомендации | Проведение операции при | |
|---|---|---|---|
| | | первичной поверке | периодическои поверке |
| 1 Подготовка к поверке | 8.1 | + | + |
| 2 Внешний осмотр | 8 2 | + | + |
| 3 Опробование | 8.3 | + | + |
| 4 Определение метрологических характеристик радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев | 8.4 | + | + |
| 4.1.Определение погрешности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев, возникающей из-за неидеальной коррекции спектральной чувствительности | 8.4.1 | + | + |
| 4.1.1 Измерение относительной спектральной чувствительности в основном УФ диапазоне длин волн от 0,2 до 0,4 мкм | 8.4.1.1 | + | — |
| 4.1.2 Измерение относительной спектральной чувствительности в дополнительном видимом и инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн от 0,4 до 1,1 мкм | 8.4.1.2 | + | — |
| 4.2. Определение погрешности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев, возникающей из-за неидеальной коррекции спектральной чувствительности в УФ, видимом и ИК диапазонах длин волн от 0,2 до 1,1 мкм, с использованием контрольных источников излучения | 8.4.2 | — | + |

*Окончание табл. 1*

| Наименование операции | Номер пункта настоящих рекомендаций | Проведение операции при | |
|---|---|---|---|
| | | первичной поверке | периодической поверке |
| 4.3. Определение погрешности абсолютной чувствительности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, УФ-В, УФ-С | 8.4.3 | + | + |
| 4.4. Определение погрешности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев, возникающей из-за отклонений коэффициента линейности от единицы. Определение границ диапазона измерений энергетической освещенности | 8.4.4 | + | — |
| 4.5. Определение погрешности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев, возникающей из-за неидеальной коррекции угловой зависимости чувствительности | 8.4.5 | + | + |
| 4.6.Обработка результатов поверки радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев | 8.4.6 | + | + |
| 5. Оформление результатов поверки радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев | 9 | + | + |

## 4 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ РАДИОМЕТРОВ (СПЕКТРОРАДИОМЕТРОВ) ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛЯРИЕВ

При проведении поверки используются основные и вспомогательные средства, перечень которых приведен в табл. 2.

Таблица 2

| Номер пункта настоящих рекомендации | Средства поверки |
|---|---|
| 8.4.1 | Установка для измерений спектральнои чувствительности приемников излучения в диапазоне длин волн 0,2 —1,1 мкм в составе рабочего эталона потока излучения энергетической освещенности (РЭ ПИ и ЭО) по ГОСТ 8.552. Установка включает источники излучения — лампы типов ЛД(Д), КГМ-12-100 ( или аналогичные), монохроматор типа МДР-23 ( или аналогичный), фотоприемники типа Ф-34, ФПД-1, ФД-288К (или аналогичные). Среднеквадратическое отклонение $S_{\Sigma_0}$ — от 1 до 2 % |
| 8.4.2—8.4.3 | Установка для измерений абсолютной чувствительности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев в диапазоне длин волн от 0,2 до 0,4 мкм в составс РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552, включающая источники излучения—лампы типов ДБ-30, ЛУФ-30, КГМ-12-100 (или аналогичные), радиометр УФ излучения. Среднее квадратическое отклонение $S_{\Sigma_0}$ — от 1 до 2% |
| 8.4.4 | Установка для измерений коэффициента линейности чувствительности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552, включающая два источника излучения — лампы типа ДКсШ-120 ( или аналогичные). Среднее квадратическое отклонение $S_{\Sigma_0} = 1$ % |
| 8.4.5 | Установка для измерений угловой зависимости чувствительности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552, включающая гониометр ГС-5 ( или аналогичный). Среднеквадратическое отклонение $S_{\Sigma_0} = 2$ % |

## 5 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ

К поверке радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев допускают лиц, освоивших работу с радиометрами и используемыми эталонами, изучивших настоящие рекомендации, прошедших аттестацию в соответствии с ПР 50.2.012.

## 6 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Поверка средств измерений характеристик оптического излучения соляриев включает соблюдение правил электробезопасности [13]. Измерения могут выполнять операторы, аттестованные для работы по группе электробезопасности (не ниже III) и прошедшие инструктаж на рабочем месте по безопасности труда при эксплуатации электрических установок. При работе с источниками УФ излучения необходимо использовать средства защиты персонала от УФ излучения — защитные очки, щитки, перчатки и т.п. в соответствии с требованиями СанПиН 4557.

В помещении, в котором эксплуатируются источники УФ излучения, должна быть предусмотрена приточно-вытяжная вентиляция для исключения вредного воздействия озона на людей. Концентрация озона в воздушной среде помещения должна соответствовать требованиям СанПиН 4557.

## 7 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

| | |
|---|---|
| температура окружающего воздуха, °С | 20±5 |
| относительная влажность воздуха при t = 25 °С, % | 65±15 |
| атмосферное давление, кПа | от 84 до104 |
| напряжение питающей сети, В | 220±4 |
| частота питающей сети, Гц | 50±1 |

## 8 ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

Методика поверки радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев включает подготовку к поверке, внешний осмотр, опробование и определение метрологических характеристик.

8.1 При подготовке к поверке необходимо включить все приборы в соответствии с их инструкциями по эксплуатации.

8.2 При внешнем осмотре должно быть установлено:

соответствие комплектности радиометров (спектрорадиометров) паспортным данным;

отсутствие механических повреждений блоков радиометров (спектрорадиометров), сохранность соединительных кабелей и сетевых разъемов;

четкость надписей на панели прибора;

наличие маркировки (тип и заводской номер прибора);

отсутствие сколов, царапин и загрязнений на оптических деталях прибора.

8.3 При опробовании должно быть установлено:

наличие показаний радиометра (спектрорадиометра) при его освещении УФ излучением;

правильное функционирование переключателей пределов измерений, режимов работы радиометров (спектрорадиометров).

8.4 Определение метрологических характеристик радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев.

8.4.1 Определение погрешности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев, возникающей из-за неидеальной коррекции спектральной чувствительности

Измерения относительной спектральной чувствительности (ОСЧ) радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев проводят при первичной поверке для определения погрешности, вызванной отклонением реальной относительной спектральной чувствительности поверяемого радиометра (спектрорадиометра) от идеальной. ОСЧ поверяемого радиометра оптического излучения соляриев сравнивается с известной спектральной чувствительностью эталонного приемника УФ излучения, в составе РЭ по ГОСТ 8.552—2001 в диапазоне длин волн от 0,2 до 1,1 мкм. Дополнительные измерения относительной спектральной чувствительности поверяемого радиометра в видимой и ИК областях спектра необходимы для исключения грубых погрешностей, возникающих при измерении радиометром энергетической освещенности УФ излучения на фоне интенсивного длинноволнового излучения люминесцентных ламп.

8.4.1.1 Измерение относительной спектральной чувствительности в основном УФ диапазоне длин волн от 0,2 до 0,4 мкм.

При измерении относительной спектральной чувствительности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев в основном диапазоне длин волн от 0,2 до 0,4 мкм используют: излучатель на основе дейтериевой лампы типа ЛД(Д) с кварцевым окном в диапазоне длин волн от 0,20 до 0,34 мкм; излучатель на основе галогенной лампы накаливания типа КГМ-12-100 в диапазоне длин волн 0,34—0,4 мкм; монохроматор типа МДР-23 со спектральным разрешением не более 2 нм; эталонный приемник УФ излучения — фотодиод типа ФПД-1.

Эталонный приемник излучения и измерительный блок поверяемого прибора поочередно устанавливают за выходной щелью монохроматора таким образом, чтобы поток монохроматического излучения не выходил за пределы апертурной диафрагмы. Регистрацию показаний эталонного приемника $I^{\circ}(\lambda)$ и поверяемого прибора $I(\lambda)$ проводят поочередно 5 раз на каждой длине волны с шагом 10 нм. Затем за выходной щелью монохроматора устанавливают светофильтр

типа ЖС-16 толщиной 1 мм, непрозрачный в диапазоне длин волн от 0,2 до 0,4 мкм, и определяют показания эталонного приемника $J^{\circ}(\lambda)$ и поверяемого прибора $J(\lambda)$, соответствующие рассеянному излучению в монохроматоре. Результат $i$-го измерения ОСЧ поверяемого прибора $S_i(\lambda)$ рассчитывают по известным значениям ОСЧ $S^{\circ}(\lambda)$ эталонного приемника по формуле

$$S_i(\lambda) = S^{\circ}(\lambda) \cdot \left[I_i(\lambda) - J_i(\lambda)\right] / \left[I_i^{\circ}(\lambda) - J_i^{\circ}(\lambda)\right]. \quad (1)$$

Для каждой длины волны определяют среднее значение ОСЧ $S(\lambda)$. Оценку относительного среднеквадратического отклонения $S_O$ результатов измерений для $n$ независимых измерений определяют по формуле

$$S_O = \frac{\left\{\sum\left[\overset{n}{\underset{i=1}{S(\lambda)}} - S_i(\lambda)\right]^2\right\}^{1/2}}{S(\lambda)\left[n(n-1)\right]^{1/2}}, \quad (2)$$

где $n$ — число независимых измерений.

Граница относительной неисключенной систематической погрешности результата измерений ОСЧ $\Theta_O$ определяется погрешностью РЭ ГОСТ 8.552—2001. Суммарное относительное среднеквадратическое отклонение результата измерения ОСЧ $S_{\Sigma_O}$ определяют по формуле

$$S_{\Sigma O} = (S_O^2 + \Theta_O^2 / 3)^{1/2}. \quad (3)$$

Значение суммарного среднеквадратического отклонения (СКО) результата измерений, оцененного по формуле (3), не должно превышать 4 % — для диапазонов УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, 5 % — для диапазона УФ-В, 6 % - для диапазона УФ-С.

8.4.1.2 Измерение относительной спектральной чувствительности в дополнительном видимом и ИК диапазонах длин волн от 0,4 до 1,1 мкм.

При измерении чувствительности поверяемого радиометра в дополнительном видимом и ИК диапазонах длин волн от 0,4 до 1,1 мкм спектральное разрешение монохроматора выбирают в пределах 4 нм. В качестве источника излучения используют лампу накаливания типа КГМ-12-100, в качестве эталонного приемника излучения — кремниевый фотодиод типа ФД-288К. Измерения проводят с шагом 20 нм, как указано в 8.4.1.1. Значение суммарного СКО результата измерений, оцененного в соответствии с ГОСТ 8.207, не должно превышать 4 %.

При определении ОСЧ спектрорадиометра оптического излучения соляриев в основном диапазоне длин волн от 0,2 до 0,4 мкм используется эталонный источник УФ излучения на основе дейтери-

евой лампы типа ЛД(Д), в составе РЭ СПЭО по ГОСТ 8.197. Эталонный источник устанавливают на расстоянии 0,5 м от спектрорадиометра так, чтобы значения СПЭО составляли $(0,5\div5)\cdot10^5$ Вт/м$^3$ в диапазоне длин волн от 0,2 до 0,4 мкм. Сигналы (показания) спектрорадиометра измеряют в единицах СПЭО - Вт/м$^3$. ОСЧ поверяемого спектрорадиометра $S(\lambda)$ определяют по отношению измеренных значений СПЭО к значениям СПЭО эталонного излучателя. Погрешность определения ОСЧ спектрорадиометра оценивают по формуле (3), по значениям СКО измеренных сигналов и значению предельной погрешности РЭ СПЭО по ГОСТ 8.197. Суммарное СКО при определении ОСЧ поверяемого спектрорадиометра в диапазонах УФ-А1, УФ-А2, УФ-А не должно превышать 4 %, в диапазоне УФ-В — 5 %, в диапазоне УФ-С — 6 % . Для определения ОСЧ поверяемого спектрорадиометра $S(\lambda)$ в видимом и ИК диапазонах длин волн от 0,4 до 1,1 мкм используют источник излучения — лампу типа КГМ-12-100, поверенную в качестве РЭ ЭО ( $E_{AB}$, Вт/м$^2$) по ГОСТ 8.195. При этом поверяемый спектрорадиометр устанавливают на оптической скамье на расстоянии 0,3 м от источника излучения. Регистрация показаний $I$ поверяемого УФ спектрорадиометра (в Вт/ м$^2$) в основном диапазоне указывает на наличие дополнительной нескоррегированной чувствительности $S(\lambda)$ в диапазоне длин волн от 0,4 до 1,1 мкм, которую необходимо учитывать при оценке погрешности прибора. Среднее значение $S(\lambda)$ по диапазону длин волн от 0,4 до 1,1 мкм определяют по формуле

$$S(\lambda) = I/E_{vir}. \qquad (4)$$

Погрешность определения ОСЧ радиометра (спектрорадиометра) оценивают по формуле (3). Значение суммарного СКО результата измерений ОСЧ не должно превышать 4 %.

Погрешность спектральной коррекции радиометра $\Theta_1$, вызванную отклонением относительной спектральной чувствительности $S_\lambda$ поверяемого радиометра (спектрорадиометра) от стандартной $S^{ст}$ $(\lambda)$, определяют по формуле

$$\Theta_1 = 100\left|\frac{\int_{0,2}^{1,1} E(\lambda)\cdot S(\lambda)d\lambda \cdot \int_{0,2}^{1,1} E^{ст}(\lambda)\cdot S^{ст}(\lambda)d\lambda}{\int_{0,2}^{1,1} E(\lambda)\cdot S^{ст}(\lambda)d\lambda \cdot \int_{0,2}^{1,1} E^{ст}(\lambda)\cdot S(\lambda)d\lambda} - 1\right|, \qquad (5)$$

где $E(\lambda)$ — относительная спектральная плотность энергетической освещенности контрольных источников УФ излучения;

$E^{ст}(\lambda)$ — относительная спектральная плотность энергетической освещенности стандартного источника УФ излучения.

Для определения возможности применения поверяемого прибора в качестве радиометра (спектрорадиометра) оптического излучения соляриев в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, УФ-В, УФ-С в соответствии с настоящей методикой установлен перечень контрольных и стандартных источников излучения. Табулированные *значения $E$ ($\lambda$) и $E^{ст}$ ($\lambda$) приведены в табл.3—7 для спектрального* интервала 5 нм. Расчет $\Theta_1$ по формуле (5) рекомендуется выполнять с использованием специально разработанных компьютерных программ. Значение погрешности спектральной коррекции $\Theta_1$ радиометра (спектрорадиометра) оптического излучения соляриев для каждого контрольного источника в диапазонах длин волн УФ-А и УФ-С не должно превышать 5 %, в диапазоне УФ-В — 4 %, в диапазонах УФ-А1 и УФ-А2 — 6 % .

Таблица 3

**Значения $E^{ст}(\lambda)$ стандартного источника для диапазона УФ-С — ртутной лампы среднего давления**

| Длина волны, нм | $E^{ст}$ ($\lambda$) | Длина волны, нм | $E^{ст}$ ($\lambda$) | Длина волны, нм | $E^{ст}$ ($\lambda$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 200 | $5{,}55 \cdot 10^{-2}$ | 325 | $1{,}19 \cdot 10^{-2}$ | 450 | $7{,}58 \cdot 10^{-3}$ |
| 205 | $8{,}19 \cdot 10^{-2}$ | 330 | $1{,}13 \cdot 10^{-2}$ | 455 | $6{,}42 \cdot 10^{-3}$ |
| 210 | $1{,}04 \cdot 10^{-1}$ | 335 | $1{,}03 \cdot 10^{-1}$ | 460 | $5{,}43 \cdot 10^{-3}$ |
| 215 | $1{,}04 \cdot 10^{-1}$ | 340 | $9{,}48 \cdot 10^{-3}$ | 465 | $5{,}19 \cdot 10^{-3}$ |
| 220 | $1{,}23 \cdot 10^{-1}$ | 345 | $7{,}87 \cdot 10^{-3}$ | 470 | $5{,}57 \cdot 10^{-3}$ |
| 225 | $1{,}29 \cdot 10^{-1}$ | 350 | $6{,}71 \cdot 10^{-3}$ | 475 | $5{,}65 \cdot 10^{-3}$ |
| 230 | $1{,}18 \cdot 10^{-1}$ | 355 | $9{,}12 \cdot 10^{-3}$ | 480 | $5{,}38 \cdot 10^{-3}$ |
| 235 | $1{,}02 \cdot 10^{-1}$ | 360 | $9{,}51 \cdot 10^{-3}$ | 485 | $6{,}13 \cdot 10^{-3}$ |
| 240 | $8{,}64 \cdot 10^{-2}$ | 365 | 1,000 | 490 | $1{,}79 \cdot 10^{-2}$ |
| 245 | $4{,}87 \cdot 10^{-2}$ | 370 | $2{,}68 \cdot 10^{-2}$ | 495 | $7{,}15 \cdot 10^{-3}$ |
| 250 | $9{,}05 \cdot 10^{-2}$ | 375 | $1{,}01 \cdot 10^{-2}$ | 500 | $4{,}26 \cdot 10^{-3}$ |
| 255 | $4{,}42 \cdot 10^{-1}$ | 380 | $1{,}03 \cdot 10^{-2}$ | 505 | $4{,}49 \cdot 10^{-3}$ |
| 260 | $1{,}75 \cdot 10^{-1}$ | 385 | $7{,}87 \cdot 10^{-3}$ | 510 | $4{,}63 \cdot 10^{-3}$ |
| 265 | $2{,}93 \cdot 10^{-1}$ | 390 | $2{,}27 \cdot 10^{-2}$ | 515 | $4{,}70 \cdot 10^{-3}$ |
| 270 | $1{,}01 \cdot 10^{-1}$ | 395 | $5{,}82 \cdot 10^{-3}$ | 520 | $4{,}65 \cdot 10^{-3}$ |
| 275 | $6{,}52 \cdot 10^{-2}$ | 400 | $7{,}40 \cdot 10^{-3}$ | 525 | $4{,}69 \cdot 10^{-3}$ |
| 280 | $1{,}78 \cdot 10^{-1}$ | 405 | $3{,}30 \cdot 10^{-1}$ | 530 | $4{,}74 \cdot 10^{-3}$ |
| 285 | $2{,}15 \cdot 10^{-2}$ | 410 | $7{,}52 \cdot 10^{-2}$ | 535 | $9{,}77 \cdot 10^{-3}$ |
| 290 | $8{,}08 \cdot 10^{-2}$ | 415 | $8{,}64 \cdot 10^{-3}$ | 540 | $6{,}49 \cdot 10^{-3}$ |
| 295 | $1{,}21 \cdot 10^{-1}$ | 420 | $8{,}36 \cdot 10^{-3}$ | 545 | $7{,}18 \cdot 10^{-1}$ |
| 300 | $1{,}48 \cdot 10^{-1}$ | 425 | $9{,}92 \cdot 10^{-3}$ | 550 | $5{,}61 \cdot 10^{-3}$ |
| 305 | $3{,}67 \cdot 10^{-1}$ | 430 | $1{,}39 \cdot 10^{-2}$ | 555 | $5{,}50 \cdot 10^{-3}$ |
| 310 | $1{,}20 \cdot 10^{-1}$ | 435 | $6{,}38 \cdot 10^{-1}$ | 560 | $5{,}40 \cdot 10^{-3}$ |
| 315 | $6{,}09 \cdot 10^{-1}$ | 440 | $2{,}37 \cdot 10^{-2}$ | 565 | $5{,}51 \cdot 10^{-3}$ |
| 320 | $1{,}50 \cdot 10^{-2}$ | 445 | $1{,}20 \cdot 10^{-2}$ | 570 | $6{,}27 \cdot 10^{-3}$ |

*Окончание табл. 3*

| Длина волны, нм | $E^{ст}$ (λ) | Длина волны, нм | $E^{ст}$ (λ) | Длина волны, нм | $E^{ст}$ (λ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 575 | $9{,}48 \cdot 10^{-3}$ | 755 | $4{,}98 \cdot 10^{-3}$ | 930 | $5{,}79 \cdot 10^{-3}$ |
| 580 | $7{,}04 \cdot 10^{-1}$ | 760 | $4{,}97 \cdot 10^{-3}$ | 935 | $5{,}82 \cdot 10^{-3}$ |
| 585 | $5{,}47 \cdot 10^{-3}$ | 765 | $4{,}99 \cdot 10^{-3}$ | 940 | $5{,}84 \cdot 10^{-3}$ |
| 590 | $5{,}07 \cdot 10^{-3}$ | 770 | $5{,}01 \cdot 10^{-3}$ | 945 | $5{,}87 \cdot 10^{-3}$ |
| 595 | $5{,}05 \cdot 10^{-3}$ | 775 | $5{,}04 \cdot 10^{-3}$ | 950 | $5{,}89 \cdot 10^{-3}$ |
| 600 | $5{,}02 \cdot 10^{-3}$ | 780 | $5{,}05 \cdot 10^{-3}$ | 955 | $5{,}92 \cdot 10^{-3}$ |
| 605 | $4{,}98 \cdot 10^{-3}$ | 785 | $5{,}11 \cdot 10^{-3}$ | 960 | $5{,}96 \cdot 10^{-3}$ |
| 610 | $4{,}99 \cdot 10^{-3}$ | 790 | $5{,}09 \cdot 10^{-3}$ | 965 | $5{,}98 \cdot 10^{-3}$ |
| 615 | $4{,}92 \cdot 10^{-3}$ | 795 | $5{,}11 \cdot 10^{-3}$ | 970 | $6{,}01 \cdot 10^{-3}$ |
| 620 | $4{,}97 \cdot 10^{-3}$ | 800 | $5{,}14 \cdot 10^{-3}$ | 975 | $6{,}04 \cdot 10^{-3}$ |
| 625 | $4{,}94 \cdot 10^{-3}$ | 805 | $5{,}16 \cdot 10^{-3}$ | 980 | $6{,}05 \cdot 10^{-3}$ |
| 630 | $4{,}92 \cdot 10^{-3}$ | 810 | $5{,}16 \cdot 10^{-3}$ | 985 | $6{,}05 \cdot 10^{-3}$ |
| 635 | $4{,}95 \cdot 10^{-3}$ | 815 | $5{,}16 \cdot 10^{-3}$ | 990 | $6{,}07 \cdot 10^{-3}$ |
| 640 | $4{,}99 \cdot 10^{-3}$ | 820 | $5{,}18 \cdot 10^{-3}$ | 995 | $6{,}08 \cdot 10^{-3}$ |
| 645 | $5{,}02 \cdot 10^{-3}$ | 825 | $5{,}18 \cdot 10^{-3}$ | 1000 | $6{,}09 \cdot 10^{-3}$ |
| 650 | $5{,}07 \cdot 10^{-3}$ | 830 | $5{,}19 \cdot 10^{-3}$ | 1005 | $6{,}09 \cdot 10^{-3}$ |
| 655 | $5{,}16 \cdot 10^{-3}$ | 835 | $5{,}22 \cdot 10^{-3}$ | 1010 | $6{,}23 \cdot 10^{-3}$ |
| 660 | $5{,}25 \cdot 10^{-3}$ | 840 | $5{,}25 \cdot 10^{-3}$ | 1015 | $7{,}66 \cdot 10^{-2}$ |
| 665 | $5{,}27 \cdot 10^{-3}$ | 845 | $5{,}28 \cdot 10^{-3}$ | 1020 | $6{,}18 \cdot 10^{-3}$ |
| 670 | $6{,}07 \cdot 10^{-3}$ | 850 | $5{,}31 \cdot 10^{-3}$ | 1025 | $6{,}09 \cdot 10^{-3}$ |
| 675 | $5{,}22 \cdot 10^{-3}$ | 855 | $5{,}33 \cdot 10^{-3}$ | 1030 | $6{,}08 \cdot 10^{-3}$ |
| 680 | $5{,}21 \cdot 10^{-3}$ | 860 | $5{,}36 \cdot 10^{-3}$ | 1035 | $6{,}06 \cdot 10^{-3}$ |
| 685 | $5{,}23 \cdot 10^{-3}$ | 865 | $5{,}38 \cdot 10^{-3}$ | 1040 | $6{,}04 \cdot 10^{-3}$ |
| 690 | $5{,}82 \cdot 10^{-3}$ | 870 | $5{,}41 \cdot 10^{-3}$ | 1045 | $6{,}01 \cdot 10^{-3}$ |
| 695 | $5{,}27 \cdot 10^{-3}$ | 875 | $5{,}43 \cdot 10^{-3}$ | 1050 | $5{,}96 \cdot 10^{-3}$ |
| 700 | $5{,}25 \cdot 10^{-3}$ | 880 | $5{,}45 \cdot 10^{-3}$ | 1055 | $5{,}93 \cdot 10^{-3}$ |
| 705 | $5{,}34 \cdot 10^{-3}$ | 885 | $5{,}48 \cdot 10^{-3}$ | 1060 | $5{,}89 \cdot 10^{-3}$ |
| 710 | $7{,}11 \cdot 10^{-3}$ | 890 | $5{,}52 \cdot 10^{-3}$ | 1065 | $5{,}86 \cdot 10^{-3}$ |
| 715 | $5{,}05 \cdot 10^{-3}$ | 895 | $5{,}55 \cdot 10^{-3}$ | 1070 | $5{,}82 \cdot 10^{-3}$ |
| 720 | $5{,}01 \cdot 10^{-3}$ | 900 | $5{,}58 \cdot 10^{-3}$ | 1075 | $5{,}79 \cdot 10^{-3}$ |
| 725 | $4{,}94 \cdot 10^{-3}$ | 905 | $5{,}62 \cdot 10^{-3}$ | 1080 | $5{,}75 \cdot 10^{-3}$ |
| 730 | $4{,}89 \cdot 10^{-3}$ | 910 | $5{,}65 \cdot 10^{-3}$ | 1085 | $5{,}72 \cdot 10^{-3}$ |
| 735 | $4{,}90 \cdot 10^{-3}$ | 915 | $5{,}70 \cdot 10^{-3}$ | 1090 | $5{,}69 \cdot 10^{-3}$ |
| 740 | $4{,}93 \cdot 10^{-3}$ | 920 | $5{,}72 \cdot 10^{-3}$ | 1095 | $5{,}66 \cdot 10^{-3}$ |
| 745 | $4{,}92 \cdot 10^{-3}$ | 925 | $5{,}76 \cdot 10^{-3}$ | 1100 | $5{,}69 \cdot 10^{-3}$ |
| 750 | $4{,}94 \cdot 10^{-3}$ | | | | |

Таблица 4

**Значения $E^{ст}(\lambda)$ стандартного источника для диапазонов УФ-А, УФ-А1, УФ-А2, УФ-В – ртутной лампы с люминофором типа ЛУФ**

| Длина волны, нм | $E^{ст}$ (λ) | Длина волны, нм | $E^{ст}$ (λ) |
|---|---|---|---|
| 280 | $2{,}07 \cdot 10^{-6}$ | 445 | $1{,}17 \cdot 10^{-3}$ |
| 285 | $1{,}18 \cdot 10^{-5}$ | 450 | $9{,}48 \cdot 10^{-4}$ |
| 290 | $1{,}58 \cdot 10^{-4}$ | 455 | $7{,}95 \cdot 10^{-4}$ |
| 295 | $8{,}78 \cdot 10^{-4}$ | 460 | $6{,}36 \cdot 10^{-4}$ |
| 300 | $1{,}81 \cdot 10^{-3}$ | 465 | $5{,}53 \cdot 10^{-4}$ |
| 305 | $6{,}06 \cdot 10^{-3}$ | 470 | $5{,}09 \cdot 10^{-4}$ |
| 310 | $1{,}86 \cdot 10^{-2}$ | 475 | $4{,}63 \cdot 10^{-4}$ |
| 315 | $6{,}33 \cdot 10^{-2}$ | 480 | $4{,}24 \cdot 10^{-4}$ |
| 320 | $1{,}09 \cdot 10^{-1}$ | 485 | $3{,}92 \cdot 10^{-4}$ |
| 325 | $2{,}23 \cdot 10^{-1}$ | 490 | $2{,}67 \cdot 10^{-3}$ |
| 330 | $3{,}85 \cdot 10^{-1}$ | 495 | $3{,}61 \cdot 10^{-4}$ |
| 335 | $5{,}83 \cdot 10^{-1}$ | 500 | $3{,}31 \cdot 10^{-4}$ |
| 340 | $7{,}57 \cdot 10^{-1}$ | 505 | $3{,}20 \cdot 10^{-4}$ |
| 345 | $9{,}19 \cdot 10^{-1}$ | 510 | $2{,}94 \cdot 10^{-4}$ |
| 350 | 1,000 | 515 | $3{,}10 \cdot 10^{-4}$ |
| 355 | $9{,}75 \cdot 10^{-1}$ | 520 | $2{,}50 \cdot 10^{-4}$ |
| 360 | $8{,}63 \cdot 10^{-1}$ | 525 | $2{,}67 \cdot 10^{-4}$ |
| 365 | $8{,}74 \cdot 10^{-1}$ | 530 | $2{,}36 \cdot 10^{-4}$ |
| 370 | $5{,}58 \cdot 10^{-1}$ | 535 | $2{,}35 \cdot 10^{-4}$ |
| 375 | $3{,}98 \cdot 10^{-1}$ | 540 | $1{,}92 \cdot 10^{-4}$ |
| 380 | $2{,}70 \cdot 10^{-1}$ | 545 | $3{,}74 \cdot 10^{-1}$ |
| 385 | $1{,}78 \cdot 10^{-1}$ | 550 | $5{,}27 \cdot 10^{-4}$ |
| 390 | $1{,}14 \cdot 10^{-1}$ | 555 | $1{,}51 \cdot 10^{-4}$ |
| 395 | $6{,}99 \cdot 10^{-2}$ | 560 | $1{,}47 \cdot 10^{-4}$ |
| 400 | $4{,}26 \cdot 10^{-2}$ | 565 | $1{,}23 \cdot 10^{-4}$ |
| 405 | $3{,}28 \cdot 10^{-1}$ | 570 | $1{,}13 \cdot 10^{-4}$ |
| 410 | $6{,}31 \cdot 10^{-2}$ | 575 | $9{,}95 \cdot 10^{-5}$ |
| 415 | $9{,}85 \cdot 10^{-3}$ | 580 | $3{,}52 \cdot 10^{-1}$ |
| 420 | $6{,}38 \cdot 10^{-3}$ | 585 | $1{,}49 \cdot 10^{-4}$ |
| 425 | $4{,}11 \cdot 10^{-3}$ | 590 | $8{,}67 \cdot 10^{-5}$ |
| 430 | $2{,}84 \cdot 10^{-3}$ | 595 | $7{,}24 \cdot 10^{-5}$ |
| 435 | $1{,}55 \cdot 10^{-1}$ | 600 | $6{,}96 \cdot 10^{-5}$ |
| 440 | $1{,}83 \cdot 10^{-3}$ | | |

Таблица 5

**Значения $E(\lambda)$ контрольного источника для диапазонов УФ-А, УФ-А1, УФ-А2, УФ-В – источника типа «А»**

| Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 270 | $7{,}83 \cdot 10^{-4}$ | 465 | $1{,}48 \cdot 10^{-1}$ | 660 | $6{,}39 \cdot 10^{-1}$ |
| 275 | $1{,}03 \cdot 10^{-3}$ | 470 | $1{,}58 \cdot 10^{-1}$ | 665 | $6{,}52 \cdot 10^{-1}$ |
| 280 | $1{,}33 \cdot 10^{-3}$ | 475 | $1{,}68 \cdot 10^{-1}$ | 670 | $6{,}64 \cdot 10^{-1}$ |
| 285 | $1{,}68 \cdot 10^{-3}$ | 480 | $1{,}78 \cdot 10^{-1}$ | 675 | $6{,}76 \cdot 10^{-1}$ |
| 290 | $2{,}09 \cdot 10^{-3}$ | 485 | $1{,}88 \cdot 10^{-1}$ | 680 | $6{,}88 \cdot 10^{-1}$ |
| 295 | $2{,}57 \cdot 10^{-3}$ | 490 | $1{,}99 \cdot 10^{-1}$ | 685 | $7{,}00 \cdot 10^{-1}$ |
| 300 | $3{,}13 \cdot 10^{-3}$ | 495 | $2{,}10 \cdot 10^{-1}$ | 690 | $7{,}12 \cdot 10^{-1}$ |
| 305 | $3{,}75 \cdot 10^{-3}$ | 500 | $2{,}22 \cdot 10^{-1}$ | 695 | $7{,}24 \cdot 10^{-1}$ |
| 310 | $4{,}49 \cdot 10^{-3}$ | 505 | $2{,}33 \cdot 10^{-1}$ | 700 | $7{,}35 \cdot 10^{-1}$ |
| 315 | $5{,}37 \cdot 10^{-3}$ | 510 | $2{,}45 \cdot 10^{-1}$ | 705 | $7{,}46 \cdot 10^{-1}$ |
| 320 | $6{,}38 \cdot 10^{-3}$ | 515 | $2{,}57 \cdot 10^{-1}$ | 710 | $7{,}57 \cdot 10^{-1}$ |
| 325 | $7{,}55 \cdot 10^{-3}$ | 520 | $2{,}69 \cdot 10^{-1}$ | 715 | $7{,}68 \cdot 10^{-1}$ |
| 330 | $8{,}94 \cdot 10^{-3}$ | 525 | $2{,}81 \cdot 10^{-1}$ | 720 | $7{,}78 \cdot 10^{-1}$ |
| 335 | $1{,}04 \cdot 10^{-2}$ | 530 | $2{,}94 \cdot 10^{-1}$ | 725 | $7{,}88 \cdot 10^{-1}$ |
| 340 | $1{,}21 \cdot 10^{-2}$ | 535 | $3{,}07 \cdot 10^{-1}$ | 730 | $7{,}98 \cdot 10^{-1}$ |
| 345 | $1{,}42 \cdot 10^{-2}$ | 540 | $3{,}20 \cdot 10^{-1}$ | 735 | $8{,}07 \cdot 10^{-1}$ |
| 350 | $1{,}62 \cdot 10^{-2}$ | 545 | $3{,}33 \cdot 10^{-1}$ | 740 | $8{,}16 \cdot 10^{-1}$ |
| 355 | $1{,}85 \cdot 10^{-2}$ | 550 | $3{,}46 \cdot 10^{-1}$ | 745 | $8{,}25 \cdot 10^{-1}$ |
| 360 | $2{,}12 \cdot 10^{-2}$ | 555 | $3{,}59 \cdot 10^{-1}$ | 750 | $8{,}34 \cdot 10^{-1}$ |
| 365 | $2{,}39 \cdot 10^{-2}$ | 560 | $3{,}72 \cdot 10^{-1}$ | 755 | $8{,}42 \cdot 10^{-1}$ |
| 370 | $2{,}70 \cdot 10^{-2}$ | 565 | $3{,}86 \cdot 10^{-1}$ | 760 | $8{,}51 \cdot 10^{-1}$ |
| 375 | $3{,}05 \cdot 10^{-2}$ | 570 | $3{,}99 \cdot 10^{-1}$ | 765 | $8{,}59 \cdot 10^{-1}$ |
| 380 | $3{,}44 \cdot 10^{-2}$ | 575 | $4{,}12 \cdot 10^{-1}$ | 770 | $8{,}67 \cdot 10^{-1}$ |
| 385 | $3{,}84 \cdot 10^{-2}$ | 580 | $4{,}26 \cdot 10^{-1}$ | 775 | $8{,}75 \cdot 10^{-1}$ |
| 390 | $4{,}27 \cdot 10^{-2}$ | 585 | $4{,}39 \cdot 10^{-1}$ | 780 | $8{,}83 \cdot 10^{-1}$ |
| 395 | $4{,}72 \cdot 10^{-2}$ | 590 | $4{,}52 \cdot 10^{-1}$ | 785 | $8{,}90 \cdot 10^{-1}$ |
| 400 | $5{,}21 \cdot 10^{-2}$ | 595 | $4{,}66 \cdot 10^{-1}$ | 790 | $8{,}97 \cdot 10^{-1}$ |
| 405 | $5{,}74 \cdot 10^{-2}$ | 600 | $4{,}79 \cdot 10^{-1}$ | 795 | $9{,}04 \cdot 10^{-1}$ |
| 410 | $6{,}33 \cdot 10^{-2}$ | 605 | $4{,}93 \cdot 10^{-1}$ | 800 | $9{,}11 \cdot 10^{-1}$ |
| 415 | $6{,}90 \cdot 10^{-2}$ | 610 | $5{,}07 \cdot 10^{-1}$ | 805 | $9{,}18 \cdot 10^{-1}$ |
| 420 | $7{,}56 \cdot 10^{-2}$ | 615 | $5{,}21 \cdot 10^{-1}$ | 810 | $9{,}24 \cdot 10^{-1}$ |
| 425 | $8{,}20 \cdot 10^{-2}$ | 620 | $5{,}34 \cdot 10^{-1}$ | 815 | $9{,}30 \cdot 10^{-1}$ |
| 430 | $8{,}90 \cdot 10^{-2}$ | 625 | $5{,}48 \cdot 10^{-1}$ | 820 | $9{,}35 \cdot 10^{-1}$ |
| 435 | $9{,}68 \cdot 10^{-2}$ | 630 | $5{,}61 \cdot 10^{-1}$ | 825 | $9{,}40 \cdot 10^{-1}$ |
| 440 | $1{,}05 \cdot 10^{-1}$ | 635 | $5{,}75 \cdot 10^{-1}$ | 830 | $9{,}45 \cdot 10^{-1}$ |
| 445 | $1{,}13 \cdot 10^{-1}$ | 640 | $5{,}88 \cdot 10^{-1}$ | 835 | $9{,}50 \cdot 10^{-1}$ |
| 450 | $1{,}21 \cdot 10^{-1}$ | 645 | $6{,}01 \cdot 10^{-1}$ | 840 | $9{,}54 \cdot 10^{-1}$ |
| 455 | $1{,}30 \cdot 10^{-1}$ | 650 | $6{,}14 \cdot 10^{-1}$ | 845 | $9{,}59 \cdot 10^{-1}$ |
| 460 | $1{,}39 \cdot 10^{-1}$ | 655 | $6{,}27 \cdot 10^{-1}$ | 850 | $9{,}63 \cdot 10^{-1}$ |

*Окончание табл. 5*

| Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 855 | $9{,}67 \cdot 10^{-1}$ | 940 | $9{,}99 \cdot 10^{-1}$ | 1025 | $9{,}86 \cdot 10^{-1}$ |
| 860 | $9{,}70 \cdot 10^{-1}$ | 945 | 1,000 | 1030 | $9{,}83 \cdot 10^{-1}$ |
| 865 | $9{,}74 \cdot 10^{-1}$ | 950 | 1,000 | 1035 | $9{,}81 \cdot 10^{-1}$ |
| 870 | $9{,}77 \cdot 10^{-1}$ | 955 | 1,000 | 1040 | $9{,}79 \cdot 10^{-1}$ |
| 875 | $9{,}80 \cdot 10^{-1}$ | 960 | $9{,}99 \cdot 10^{-1}$ | 1045 | $9{,}77 \cdot 10^{-1}$ |
| 880 | $9{,}82 \cdot 10^{-1}$ | 965 | $9{,}99 \cdot 10^{-1}$ | 1050 | $9{,}74 \cdot 10^{-1}$ |
| 885 | $9{,}85 \cdot 10^{-1}$ | 970 | $9{,}98 \cdot 10^{-1}$ | 1055 | $9{,}71 \cdot 10^{-1}$ |
| 890 | $9{,}87 \cdot 10^{-1}$ | 975 | $9{,}98 \cdot 10^{-1}$ | 1060 | $9{,}68 \cdot 10^{-1}$ |
| 895 | $9{,}89 \cdot 10^{-1}$ | 980 | $9{,}97 \cdot 10^{-1}$ | 1065 | $9{,}65 \cdot 10^{-1}$ |
| 900 | $9{,}91 \cdot 10^{-1}$ | 985 | $9{,}96 \cdot 10^{-1}$ | 1070 | $9{,}62 \cdot 10^{-1}$ |
| 905 | $9{,}93 \cdot 10^{-1}$ | 990 | $9{,}96 \cdot 10^{-1}$ | 1075 | $9{,}59 \cdot 10^{-1}$ |
| 910 | $9{,}95 \cdot 10^{-1}$ | 995 | $9{,}95 \cdot 10^{-1}$ | 1080 | $9{,}56 \cdot 10^{-1}$ |
| 915 | $9{,}96 \cdot 10^{-1}$ | 1000 | $9{,}94 \cdot 10^{-1}$ | 1085 | $9{,}53 \cdot 10^{-1}$ |
| 920 | $9{,}97 \cdot 10^{-1}$ | 1005 | $9{,}93 \cdot 10^{-1}$ | 1090 | $9{,}50 \cdot 10^{-1}$ |
| 925 | $9{,}98 \cdot 10^{-1}$ | 1010 | $9{,}91 \cdot 10^{-1}$ | 1095 | $9{,}47 \cdot 10^{-1}$ |
| 930 | $9{,}98 \cdot 10^{-1}$ | 1015 | $9{,}89 \cdot 10^{-1}$ | 1100 | $9{,}43 \cdot 10^{-1}$ |
| 935 | $9{,}99 \cdot 10^{-1}$ | 1020 | $9{,}88 \cdot 10^{-1}$ | | |

Таблица 6

**Значения $E(\lambda)$ контрольного источника для диапазонов УФ-А, УФ-А1, УФ-А2, УФ-В, УФ-С — ртутной лампы с люминофором типа ЛЭ**

| Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ |
|---|---|---|---|
| 250 | $1{,}07 \cdot 10^{-6}$ | 335 | $3{,}44 \cdot 10^{-1}$ |
| 255 | $2{,}85 \cdot 10^{-4}$ | 340 | $2{,}33 \cdot 10^{-1}$ |
| 260 | $5{,}18 \cdot 10^{-6}$ | 345 | $1{,}51 \cdot 10^{-1}$ |
| 265 | $7{,}09 \cdot 10^{-5}$ | 350 | $9{,}80 \cdot 10^{-2}$ |
| 270 | $1{,}60 \cdot 10^{-3}$ | 355 | $6{,}83 \cdot 10^{-2}$ |
| 275 | $1{,}81 \cdot 10^{-2}$ | 360 | $4{,}71 \cdot 10^{-2}$ |
| 280 | $5{,}22 \cdot 10^{-2}$ | 365 | $2{,}70 \cdot 10^{-1}$ |
| 285 | $1{,}53 \cdot 10^{-1}$ | 370 | $2{,}36 \cdot 10^{-2}$ |
| 290 | $3{,}41 \cdot 10^{-1}$ | 375 | $1{,}84 \cdot 10^{-2}$ |
| 295 | $5{,}90 \cdot 10^{-1}$ | 380 | $1{,}41 \cdot 10^{-2}$ |
| 300 | $8{,}55 \cdot 10^{-1}$ | 385 | $1{,}22 \cdot 10^{-2}$ |
| 305 | 1,000 | 390 | $9{,}38 \cdot 10^{-3}$ |
| 310 | $9{,}94 \cdot 10^{-1}$ | 395 | $6{,}11 \cdot 10^{-3}$ |
| 315 | $9{,}05 \cdot 10^{-1}$ | 400 | $3{,}84 \cdot 10^{-3}$ |
| 320 | $8{,}10 \cdot 10^{-1}$ | 405 | $1{,}53 \cdot 10^{-1}$ |
| 325 | $6{,}60 \cdot 10^{-1}$ | 410 | $2{,}47 \cdot 10^{-2}$ |
| 330 | $5{,}07 \cdot 10^{-1}$ | 415 | $6{,}24 \cdot 10^{-3}$ |

*Окончание табл. 6*

| Длина волны, нм | $E$ (λ) | Длина волны, нм | $E$ (λ) |
|---|---|---|---|
| 420 | $6{,}20 \cdot 10^{-3}$ | 515 | $5{,}21 \cdot 10^{-4}$ |
| 425 | $5{,}97 \cdot 10^{-3}$ | 520 | $4{,}48 \cdot 10^{-4}$ |
| 430 | $5{,}68 \cdot 10^{-3}$ | 525 | $4{,}17 \cdot 10^{-4}$ |
| 435 | $1{,}32 \cdot 10^{-1}$ | 530 | $3{,}85 \cdot 10^{-4}$ |
| 440 | $5{,}13 \cdot 10^{-3}$ | 535 | $3{,}54 \cdot 10^{-4}$ |
| 445 | $4{,}79 \cdot 10^{-3}$ | 540 | $1{,}27 \cdot 10^{-3}$ |
| 450 | $4{,}43 \cdot 10^{-3}$ | 545 | $3{,}09 \cdot 10^{-4}$ |
| 455 | $3{,}52 \cdot 10^{-1}$ | 550 | $2{,}87 \cdot 10^{-4}$ |
| 460 | $2{,}56 \cdot 10^{-2}$ | 555 | $2{,}77 \cdot 10^{-4}$ |
| 465 | $1{,}03 \cdot 10^{-2}$ | 560 | $1{,}80 \cdot 10^{-4}$ |
| 470 | $6{,}62 \cdot 10^{-3}$ | 565 | $1{,}17 \cdot 10^{-4}$ |
| 475 | $4{,}08 \cdot 10^{-3}$ | 570 | $8{,}19 \cdot 10^{-5}$ |
| 480 | $2{,}73 \cdot 10^{-3}$ | 575 | $7{,}24 \cdot 10^{-5}$ |
| 485 | $8{,}24 \cdot 10^{-1}$ | 580 | $7{,}35 \cdot 10^{-4}$ |
| 490 | $1{,}92 \cdot 10^{-3}$ | 585 | $7{,}46 \cdot 10^{-5}$ |
| 495 | $1{,}05 \cdot 10^{-3}$ | 590 | $6{,}57 \cdot 10^{-5}$ |
| 500 | $8{,}72 \cdot 10^{-4}$ | 595 | $5{,}68 \cdot 10^{-5}$ |
| 505 | $7{,}01 \cdot 10^{-4}$ | 600 | $4{,}98 \cdot 10^{-5}$ |
| 510 | $5{,}88 \cdot 10^{-4}$ | | |

Таблица 7

**Значения $E(\lambda)$ контрольного источника для диапазона УФ-С — ртутно-вольфрамовой лампы**

| Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 250 | $2{,}25 \cdot 10^{-4}$ | 320 | $6{,}45 \cdot 10^{-3}$ | 390 | $4{,}31 \cdot 10^{-2}$ |
| 255 | $9{,}52 \cdot 10^{-2}$ | 325 | $7{,}19 \cdot 10^{-3}$ | 395 | $4{,}74 \cdot 10^{-2}$ |
| 260 | $6{,}08 \cdot 10^{-3}$ | 330 | $8{,}83 \cdot 10^{-3}$ | 400 | $5{,}20 \cdot 10^{-2}$ |
| 265 | $1{,}53 \cdot 10^{-2}$ | 335 | $8{,}49 \cdot 10^{-2}$ | 405 | $2{,}89 \cdot 10^{-1}$ |
| 270 | $4{,}09 \cdot 10^{-3}$ | 340 | $1{,}18 \cdot 10^{-2}$ | 410 | $1{,}11 \cdot 10^{-1}$ |
| 275 | $1{,}02 \cdot 10^{-2}$ | 345 | $1{,}37 \cdot 10^{-2}$ | 415 | $7{,}08 \cdot 10^{-2}$ |
| 280 | $3{,}98 \cdot 10^{-2}$ | 350 | $1{,}56 \cdot 10^{-2}$ | 420 | $7{,}60 \cdot 10^{-2}$ |
| 285 | $1{,}15 \cdot 10^{-3}$ | 355 | $1{,}77 \cdot 10^{-2}$ | 425 | $8{,}22 \cdot 10^{-2}$ |
| 290 | $2{,}54 \cdot 10^{-2}$ | 360 | $2{,}06 \cdot 10^{-2}$ | 430 | $8{,}90 \cdot 10^{-2}$ |
| 295 | $8{,}89 \cdot 10^{-3}$ | 365 | $6{,}81 \cdot 10^{-1}$ | 435 | $4{,}83 \cdot 10^{-1}$ |
| 300 | $7{,}82 \cdot 10^{-2}$ | 370 | $2{,}68 \cdot 10^{-2}$ | 440 | $1{,}05 \cdot 10^{-1}$ |
| 305 | $1{,}53 \cdot 10^{-1}$ | 375 | $3{,}01 \cdot 10^{-2}$ | 445 | $1{,}13 \cdot 10^{-1}$ |
| 310 | $4{,}10 \cdot 10^{-3}$ | 380 | $3{,}41 \cdot 10^{-2}$ | 450 | $1{,}21 \cdot 10^{-1}$ |
| 315 | $3{,}22 \cdot 10^{-1}$ | 385 | $3{,}84 \cdot 10^{-2}$ | 455 | $1{,}30 \cdot 10^{-1}$ |

*Окончание табл. 7*

| Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 460 | $1{,}39 \cdot 10^{-1}$ | 675 | $6{,}76 \cdot 10^{-1}$ | 890 | $9{,}87 \cdot 10^{-1}$ |
| 465 | $1{,}48 \cdot 10^{-1}$ | 680 | $6{,}88 \cdot 10^{-1}$ | 895 | $9{,}89 \cdot 10^{-1}$ |
| 470 | $1{,}58 \cdot 10^{-1}$ | 685 | $7{,}00 \cdot 10^{-1}$ | 900 | $9{,}91 \cdot 10^{-1}$ |
| 475 | $1{,}68 \cdot 10^{-3}$ | 690 | $7{,}12 \cdot 10^{-1}$ | 905 | $9{,}93 \cdot 10^{-1}$ |
| 480 | $1{,}78 \cdot 10^{-1}$ | 695 | $7{,}24 \cdot 10^{-1}$ | 910 | $9{,}95 \cdot 10^{-1}$ |
| 485 | $1{,}88 \cdot 10^{-1}$ | 700 | $7{,}35 \cdot 10^{-1}$ | 915 | $9{,}96 \cdot 10^{-1}$ |
| 490 | $1{,}99 \cdot 10^{-1}$ | 705 | $7{,}46 \cdot 10^{-1}$ | 920 | $9{,}97 \cdot 10^{-1}$ |
| 495 | $2{,}10 \cdot 10^{-1}$ | 710 | $7{,}57 \cdot 10^{-1}$ | 925 | $9{,}98 \cdot 10^{-1}$ |
| 500 | $2{,}22 \cdot 10^{-1}$ | 715 | $7{,}68 \cdot 10^{-1}$ | 930 | $9{,}98 \cdot 10^{-1}$ |
| 505 | $2{,}33 \cdot 10^{-1}$ | 720 | $7{,}78 \cdot 10^{-1}$ | 935 | $9{,}99 \cdot 10^{-1}$ |
| 510 | $2{,}45 \cdot 10^{-1}$ | 725 | $7{,}88 \cdot 10^{-1}$ | 940 | $9{,}99 \cdot 10^{-1}$ |
| 515 | $2{,}57 \cdot 10^{-1}$ | 730 | $7{,}98 \cdot 10^{-1}$ | 945 | 1,000 |
| 520 | $2{,}69 \cdot 10^{-1}$ | 735 | $8{,}07 \cdot 10^{-1}$ | 950 | 1,000 |
| 525 | $2{,}81 \cdot 10^{-1}$ | 740 | $8{,}16 \cdot 10^{-1}$ | 955 | 1,000 |
| 530 | $2{,}94 \cdot 10^{-1}$ | 745 | $8{,}25 \cdot 10^{-1}$ | 960 | $9{,}99 \cdot 10^{-1}$ |
| 535 | $7{,}68 \cdot 10^{-1}$ | 750 | $8{,}34 \cdot 10^{-1}$ | 965 | $9{,}99 \cdot 10^{-1}$ |
| 540 | $3{,}20 \cdot 10^{-1}$ | 755 | $8{,}42 \cdot 10^{-1}$ | 970 | $9{,}98 \cdot 10^{-1}$ |
| 545 | $3{,}33 \cdot 10^{-1}$ | 760 | $8{,}51 \cdot 10^{-1}$ | 975 | $9{,}98 \cdot 10^{-1}$ |
| 550 | $3{,}46 \cdot 10^{-1}$ | 765 | $8{,}59 \cdot 10^{-1}$ | 980 | $9{,}97 \cdot 10^{-1}$ |
| 555 | $3{,}59 \cdot 10^{-1}$ | 770 | $8{,}67 \cdot 10^{-1}$ | 985 | $9{,}96 \cdot 10^{-1}$ |
| 560 | $3{,}72 \cdot 10^{-1}$ | 775 | $8{,}75 \cdot 10^{-1}$ | 990 | $9{,}96 \cdot 10^{-1}$ |
| 565 | $3{,}85 \cdot 10^{-1}$ | 780 | $8{,}83 \cdot 10^{-1}$ | 995 | $9{,}95 \cdot 10^{-1}$ |
| 570 | $3{,}99 \cdot 10^{-1}$ | 785 | $8{,}90 \cdot 10^{-1}$ | 1000 | $9{,}94 \cdot 10^{-1}$ |
| 575 | $4{,}12 \cdot 10^{-1}$ | 790 | $8{,}97 \cdot 10^{-1}$ | 1005 | $9{,}93 \cdot 10^{-1}$ |
| 580 | $7{,}57 \cdot 10^{-1}$ | 795 | $9{,}04 \cdot 10^{-1}$ | 1010 | $9{,}91 \cdot 10^{-1}$ |
| 585 | $4{,}39 \cdot 10^{-1}$ | 800 | $9{,}11 \cdot 10^{-1}$ | 1015 | $9{,}89 \cdot 10^{-1}$ |
| 590 | $4{,}52 \cdot 10^{-1}$ | 805 | $9{,}18 \cdot 10^{-1}$ | 1020 | $9{,}88 \cdot 10^{-1}$ |
| 595 | $4{,}66 \cdot 10^{-1}$ | 810 | $9{,}24 \cdot 10^{-1}$ | 1025 | $9{,}86 \cdot 10^{-1}$ |
| 600 | $4{,}79 \cdot 10^{-1}$ | 815 | $9{,}30 \cdot 10^{-1}$ | 1030 | $9{,}83 \cdot 10^{-1}$ |
| 605 | $4{,}93 \cdot 10^{-1}$ | 820 | $9{,}35 \cdot 10^{-1}$ | 1035 | $9{,}81 \cdot 10^{-1}$ |
| 610 | $5{,}07 \cdot 10^{-1}$ | 825 | $9{,}40 \cdot 10^{-1}$ | 1040 | $9{,}79 \cdot 10^{-1}$ |
| 615 | $5{,}21 \cdot 10^{-1}$ | 830 | $9{,}45 \cdot 10^{-1}$ | 1045 | $9{,}77 \cdot 10^{-1}$ |
| 620 | $5{,}34 \cdot 10^{-1}$ | 835 | $9{,}50 \cdot 10^{-1}$ | 1050 | $9{,}74 \cdot 10^{-1}$ |
| 625 | $5{,}48 \cdot 10^{-1}$ | 840 | $9{,}54 \cdot 10^{-1}$ | 1055 | $9{,}71 \cdot 10^{-1}$ |
| 630 | $5{,}61 \cdot 10^{-1}$ | 845 | $9{,}59 \cdot 10^{-1}$ | 1060 | $9{,}68 \cdot 10^{-1}$ |
| 635 | $5{,}75 \cdot 10^{-1}$ | 850 | $9{,}63 \cdot 10^{-1}$ | 1065 | $9{,}65 \cdot 10^{-1}$ |
| 640 | $5{,}88 \cdot 10^{-1}$ | 855 | $9{,}67 \cdot 10^{-1}$ | 1070 | $9{,}62 \cdot 10^{-1}$ |
| 645 | $6{,}01 \cdot 10^{-1}$ | 860 | $9{,}70 \cdot 10^{-1}$ | 1075 | $9{,}59 \cdot 10^{-1}$ |
| 650 | $6{,}14 \cdot 10^{-1}$ | 865 | $9{,}74 \cdot 10^{-1}$ | 1080 | $9{,}56 \cdot 10^{-1}$ |
| 655 | $6{,}27 \cdot 10^{-1}$ | 870 | $9{,}77 \cdot 10^{-1}$ | 1085 | $9{,}53 \cdot 10^{-1}$ |
| 660 | $6{,}39 \cdot 10^{-1}$ | 875 | $9{,}80 \cdot 10^{-1}$ | 1090 | $9{,}50 \cdot 10^{-1}$ |
| 665 | $6{,}52 \cdot 10^{-1}$ | 880 | $9{,}82 \cdot 10^{-1}$ | 1095 | $9{,}47 \cdot 10^{-1}$ |
| 670 | $6{,}64 \cdot 10^{-1}$ | 885 | $9{,}85 \cdot 10^{-1}$ | 1100 | $9{,}43 \cdot 10^{-1}$ |

8.4.2 Определение погрешности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев, возникающей из-за неидеальной коррекции спектральной чувствительности в УФ, видимом и ИК диапазонах длин волн от 0,2 до 1,1 мкм, с использованием контрольных источников излучения.

Измерение интегральной чувствительности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев по контрольным источникам излучения в УФ, видимом и ИК диапазонах длин волн от 0,2 до 1,1 мкм проводят при периодической поверке для оценки погрешности, вызванной отклонением реальной относительной спектральной чувствительности поверяемого радиометра (спектрорадиометра) от идеальной ($\Theta_1$), и определения границ диапазона измерений ЭО.

В основном УФ диапазоне длин волн от 0,2 до 0,4 мкм измерения проводят с использованием в качестве контрольных источников излучения ламп типов ЛУФ-40, ЛЭ-30, КГМ-12-100 в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, ламп типов ЛУФ-40, ЛЭ-30 в диапазоне УФ-В, ламп типов ДРТ-250, ЛЭ-30 в диапазоне УФ-С. При этом измерительные блоки опорного и поверяемого УФ радиометров поочередно устанавливают на оптической скамье на расстоянии 1 м от каждого из источников излучения и юстируют по углу для достижения максимального показания. Измерения показаний поверяемого и эталонного радиометров $I$ и $I^0$ проводят 5 раз для каждого контрольного источника, определяют среднее значение разности сигналов и суммарное СКО результатов измерений. Различие показаний поверяемого и эталонного радиометров: $(I - I^0)/I^0$ для каждого контрольного источника не должно превышать в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2 – 6 %, в диапазонах УФ-А, УФ-С – 5 %, в диапазоне УФ-В – 4 %.

В видимом и ИК диапазонах длин волн от 0,4 до 1,1 мкм в качестве контрольного источника излучения используется лампа накаливания типа КГМ-12-100 с фильтром ЖС-16. Расстояние от источника излучения до измерительного блока поверяемого радиометра (спектрорадиометра) составляет 0,3 м. Регистрация сигнала измерительного блока поверяемого радиометра $I_{vir}$ указывает на наличие нескорригированной чувствительности в видимом и ИК диапазонах длин волн $S_{vir}$, рассчитываемой по формуле

$$S_{vir} = I_{vir}/E_{vir}, \qquad (6)$$

где $E_{vir}$ — ЭО контрольного источника в диапазоне длин волн от 0,4 до 1,1 мкм.

К применению допускают радиометры (спектрорадиометры) оптического излучения соляриев, для которых значение $S_{vir}$ не превышает $1 \cdot 10^{-3}$.

8.4.3 Определение погрешности абсолютной чувствительности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, УФ-В, УФ-С.

При измерении абсолютной чувствительности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, УФ-В используется ртутная лампа с люминофором типа ЛУФ-40, в диапазоне УФ-С — ртутная лампа типа ДБ-30. На расстоянии 1 м от лампы на оптической скамье поочередно устанавливают эталонный радиометр и поверяемый прибор. Измерения сигналов эталонного радиометра $i^0$ и поверяемого прибора $i$ проводят поочередно 5 раз. Значение абсолютной чувствительности поверяемого прибора $S$ рассчитывают по формуле

$$S = S^0 i / i^0, \qquad (7)$$

где $S^0$ — абсолютная чувствительность эталонного радиометра.

Определяют среднее значение абсолютной чувствительности поверяемого прибора, суммарное СКО результатов измерений с учетом погрешности эталонного радиометра. Предельная погрешность определения абсолютной чувствительности $\Theta_2$ в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А, УФ-В не должна превышать 4 %, в диапазоне длин волн УФ-А2 — 3 %, в диапазоне УФ-С — 5 %.

8.4.4 Определение погрешности радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев, возникающей из-за отклонений коэффициента линейности от единицы. Определение границ диапазона измерений энергетической освещенности.

Измерение коэффициента линейности радиометра (спектрорадиометра) УФ излучения соляриев проводят для определения границ диапазона измерений ЭО. Коэффициент линейности определяется отклонением чувствительности радиометра (спектрорадиометра) от постоянного значения в рабочем диапазоне измеряемой величины.

На оптической скамье устанавливают два источника УФ излучения — лампы типа ДКсШ-120. Расстояние между поверяемым радиометром (спектрорадиометром) и источниками излучения выбирают таким образом, чтобы показания радиометра соответствовали нижней границе диапазона измерений ЭО, указанной в паспорте поверяемого прибора и составляющей для радиометра оптического излучения соляриев не менее 100 мВт/м$^2$ в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2, УФ-А, 10 мВт/м$^2$ — в диапазоне УФ-В и 1 мВт/м$^2$ — в диапазоне УФ-С. Регистрируют показания поверяемого радиометра (спектрорадиометра) отдельно от каждого из двух излучателей $I_1$ и $I_2$ и

суммарный сигнал $I_\Sigma$ от двух излучателей. Измерения проводят 5 раз с использованием экранирующих заслонок и рассчитывают коэффициент линейности $K$ по формуле

$$K = I_\Sigma / (I_1 + I_2) . \qquad (8)$$

Определяют среднее арифметическое значение коэффициента линейности $\overline{K}$, СКО $S_0$, суммарное СКО результатов измерений по формуле (3). Рассчитывают погрешность радиометра $\Theta_3$, вызванную отклонением коэффициента линейности прибора от единицы, по формуле

$$\Theta_3 = 100\,|K-1|. \qquad (9)$$

При определении границ рабочего диапазона измерений энергетической освещенности поверяемого радиометра (спектрорадиометра) расстояние от источников излучения до радиометра (спектрорадиометра) уменьшают таким образом, чтобы значение энергетической освещенности от каждого источника излучения увеличилось на порядок. Регистрируют показания $I_1$, $I_2$, $I_\Sigma$ и рассчитывают соответствующее значение погрешности $\Theta_3$. Измерения повторяют каждый раз с увеличением значения энергетической освещенности на порядок до достижения верхней границы рабочего диапазона измерений энергетической освещенности радиометра (спектрорадиометра). По результатам измерений определяют границы рабочего диапазона энергетической освещенности, указанной в паспорте поверяемого прибора и составляющей для радиометра оптического излучения соляриев не менее 50 Вт/м$^2$ в диапазоне длин волн УФ-А1, 200 Вт/м$^2$ — в диапазоне УФ-А2, 250 Вт/м$^2$ — в диапазоне УФ-А, 5 Вт/м$^2$ — в диапазоне УФ-В и 1 Вт/м$^2$ — в диапазоне УФ-С. В пределах рабочего диапазона значение погрешности $\Theta_3$ не превышает 2% в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2, УФ-А , 3% — в диапазоне длин волн УФ-В, 5% — в диапазоне длин волн УФ-С.

8.4.5 Определение погрешности УФ радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев, возникающей из-за неидеальной коррекции угловой зависимости чувствительности.

При измерении угловой зависимости чувствительности радиометра (спектрорадиометра) оптического излучения соляриев от угла падения потока излучения измерительный блок поверяемого радиометра (спектрорадиометра) устанавливают на неподвижное плечо гониометра типа ГС-5, на подвижное плечо гониометра устанавливают источник излучения — лампу типа ДКсШ-120. Регистрируют показания $I(\varphi)$ поверяемого радиометра (спектрорадиометра) в зависимости от угла падения $\varphi$ потока излучения в пределах от 0° до 85° с шагом 5°. Показания прибора для угла $\varphi$ нормируют на показание

прибора при нормальном падении потока излучения. Рассчитывают угловую зависимость $f(\varphi)$ отклонения относительной чувствительности радиометра (спектрорадиометра) от функции $\cos\varphi$ по формуле

$$f(\varphi) = 100\{I(\varphi)/[I(\varphi_0)\cos\varphi] - 1\}. \quad (10)$$

Косинусную погрешность радиометра (спектрорадиометра) $\Theta_4$ в процентах рассчитывают по формуле

$$\Theta_4 = \int_0^{85^0} |f(\varphi)| \sin 2\varphi d\varphi. \quad (11)$$

Значение $\Theta_4$ рассчитывают с использованием аттестованных компьютерных программ. Значение $\Theta_4$ не должно превышать 6 % — в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А; 5 % — в диапазонах длин волн УФ-А2, УФ-С; 7 % — в диапазоне длин волн УФ-В. При превышении указанного значения косинусной погрешности допускается ограничивать угол зрения радиометра (спектрорадиометра) оптического излучения соляриев с указанием в паспорте радиометра (спектрорадиометра) значений половинного угла зрения $\varphi_m$ и поправочных коэффициентов, учитывающих угловые размеры излучателя.

8.4.6. Обработка результатов поверки радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев

Относительное среднеквадратическое отклонение $S_0$ результатов измерений для $n$ независимых измерений рассчитывают по формуле (3).

СКО $S_0$ радиометров (спектрорадиометров) оптического излучения соляриев не должно превышать 1 %.

Границу относительной неисключенной систематической погрешности $\Theta_O$ рассчитывают по формуле

$$\Theta_o = 1{,}1\left(\sum_{j=1}^{4} \theta_i^2\right)^{1/2}. \quad (12)$$

Источниками неисключенной систематической погрешности являются:

$\Theta_1$ — погрешность спектральной коррекции ($\Theta_1 \le 6$ % — в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2, 5 % — в диапазонах длин волн УФ-А, УФ-В, 4 % — в диапазоне длин волн УФ-В по 8.4.1);

$\Theta_2$ — погрешность определения абсолютной чувствительности ($\Theta_2 \le 4$ % — в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А , УФ-В, 3 % — в диапазоне длин волн УФ-А2, 5 %- в диапазоне длин волн УФ-С по 8.4.2),

$\Theta_3$ — погрешность, определяемая коэффициентом линейности ($\Theta_3 \leq 2$ % — в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-А2, УФ-А , 3 % — в диапазонах длин волн УФ-В , УФ-С по 8.4.3),

$\Theta_4$ — погрешность, определяемая нестандартной угловой зависимостью чувствительности радиометра (спектрорадиометра) ($\Theta_4 \leq 5$ % — в диапазонах длин волн УФ-А1, УФ-С, 6 % — в диапазонах длин волн УФ-А2 , УФ-А, 7 % — в диапазоне длин волн УФ-В с учетом коэффициентов угловой коррекции по 8.4.4).

Граница относительной неисключенной систематической погрешности средств измерений энергетической освещенности оптического излучения соляриев не должна превышать 10 %.

Предел допускаемой основной относительной погрешности рассчитывают по формуле

$$\Delta_O = KS_{\Sigma O} = K(\sum_{j=1}^{4}\theta_j^2 / 3 + S_O^2)^{1/2}, \qquad (13)$$

где $K$ - коэффициент, определяемый соотношением случайной и неисключенной систематической погрешностей.

Так как $\Theta_O > 8\ S_O$, то случайной погрешностью по сравнению с систематической пренебрегают и $\Delta_O = \Theta_O$

Результаты поверки средств измерений характеристик оптического излучения соляриев считаются положительными, если предел допускаемой основной относительной погрешности не превышает 10 %.

## 9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

9.1 При положительных результатах поверки оформляют свидетельство о государственной поверке по ПР 50.2.006 и радиометр (спектрорадиометр) допускается к применению в качестве средства измерений характеристик оптического излучения соляриев в соответствии с настоящей методикой.

9.2. При отрицательных результатах поверки свидетельство о предыдущей поверке аннулируют и выдают извещение о непригодности по ПР. 50.2.006.

### 2.5.2. Общие принципы поверки ультрафиолетовых радиометров, предназначенных для диагностики озонового слоя

Диагностика озонного слоя потребовала разработки стандарта, определяющего методику поверки соответствующих средств измерений и требования к основным характеристикам ультрафиолетовых радиометров. Ниже приведены основные положения ГОСТ Р 8.588—2001. Стандарт распространяется на средства измерений характеристик излучения — ультрафиолетовые многоканальные

радиометры (далее — УФ МКР), предназначенные для определения толщины озонного слоя атмосферы Земли, и устанавливает методику поверки УФ МКР, используемых при озонном мониторинге, в соответствии с требованиями Международной метеорологической организации [21—23, 25]. Поверка осуществляется в соответствии с ГОСТ 8.552—2001 и ГОСТ Р 8.588—2001.

Операции поверки УФ МКР приведены в табл.2.5.

Таблица 2.5

**Операции поверки УФ МКР**

| Наименование операции | Номер пункта ГОСТ Р 8.588—2001 | Обязательность проведения операции при поверке | |
|---|---|---|---|
| | | первичной | периодической |
| 1 Определение метрологических характеристик УФ МКР | 1 | | |
| 1.1 Определение погрешности УФ МКР, обусловленной неидеальной коррекцией спектральной чувствительности | 1.1 | **Да** | **Да** |
| 1.2 Определение погрешности измерений абсолютной чувствительности УФ МКР в диапазоне длин волн 0,28—0,40 мкм | 1.2 | **Да** | **Нет** |
| 1.3 Определение погрешности, обусловленной отклонением значения коэффициента линейности УФ МКР от единицы. Определение границ диапазона измерений спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) | 1.3 | **Да** | **Нет** |
| 1.4 Определение основной относительной погрешности УФ МКР | 1.4 | Да | Да |

При проведении поверки используют основные и вспомогательные средства поверки, указанные в табл. 2.6.

Таблица 2.6

**Основные и вспомогательные средства, используемые для поверки УФ МКР**

| Номер пункта ГОСТ Р 8.588—2001 | Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, устанавливающего технические требования и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки |
|---|---|
| 1.1 | Установка для измерений спектральной чувствительности приемников излучения в диапазоне длин волн от 0,2 до 1,1 мкм в составе рабочего эталона потока излучения и энергетической освещенности ( РЭ ПИ и ЭО) по ГОСТ 8.552. Установка включает источники излучения — лампы типов ЛД(Д), КГМ-12-100, монохроматор типа МДР-23, фотоприемники типов ФЭУ-142, ФД-288К. Суммарное относительное среднее квадратическое отклонение (СКО) $S_{\Sigma_0}$ —от 1 % до 2 % |
| 1.2 | Установка для измерений чувствительности УФ МКР в составе РЭ СПЭО по ГОСТ 8.197. Установка включает источник излучения — лампу типа ЛД(Д). СКО $S_{\Sigma_0}$ —1 % |
| 1.3 | Установка для измерений коэффициента линейности чувствительности УФ МКР в составе РЭ ПИ и ЭО по ГОСТ 8.552. Установка включает источники излучения — лампы типа ДКсШ-120. СКО $S_{\Sigma_0}$ – 1 % . |

1. Определение метрологических характеристик

1.1 Определение погрешности УФ МКР, обусловленной неидеальной коррекцией спектральной чувствительности

Измерения относительной спектральной чувствительности (ОСЧ) каналов УФ МКР проводят в диапазоне длин волн 0,2 — 1,1 мкм.

ОСЧ каналов поверяемого УФ МКР сравнивают с ОСЧ эталонного приемника излучения (далее эталонный приемник), поверенного в диапазоне длин волн 0,2 — 1,1 мкм по ГОСТ 8.552. Измерения ОСЧ каналов поверяемого УФ МКР за пределами основного рабочего диапазона длин волн 0,28 — 0,40 мкм проводят для определения погрешности, вызванной влиянием интенсивного длинноволнового излучения Солнца.

При измерении ОСЧ в основном рабочем диапазоне длин волн 0,28 — 0,40 мкм используют источники УФ излучения — дейтериевую лампу типа ЛД(Д), монохроматор типа МДР-23, эталонный приемник УФ излучения — типа ФЭУ-142.

Эталонный приемник и канал поверяемого УФ МКР поочередно устанавливают за выходной щелью монохроматора таким образом, чтобы поток монохроматического излучения не выходил за пределы апертурной диафрагмы канала. Регистрацию показаний эталонного приемника $I^{эт}(\lambda)$ в вольтах и поверяемого УФ МКР $I(\lambda)$ в вольтах проводят поочередно 5 раз на каждой длине волны $\lambda$ в пределах полосы пропускания канала с шагом 1 нм, вне полосы пропускания — с шагом 5 нм. Затем за выходной щелью монохроматора устанавливают светофильтр типа ЖС-12 толщиной 2 мм, непрозрачный в диапазоне длин волн 0,28—0,40 мкм, и регистрируют показания эталонного приемника $J^{эт}(\lambda)$ в вольтах и поверяемого УФ МКР $J(\lambda)$ в вольтах, соответствующие рассеянному излучению в монохроматоре.

ОСЧ поверяемого УФ МКР $S(\lambda)$ рассчитывают по значениям ОСЧ $S^0(\lambda)$ эталонного приемника по формуле

$$S(\lambda) = S^{эт}(\lambda) \cdot [I(\lambda) - J(\lambda)]/[I^{эт}(\lambda) - J^{эт}(\lambda)]. \qquad (2.21)$$

Для каждой длины волны определяют среднее арифметическое значение ОСЧ $\bar{S}(\lambda)$.

Относительное среднее квадратическое отклонение $S_O$ результатов $n$ независимых измерений определяют по формуле

$$S_O = \frac{\left\{\sum_{i=1}^{n}\left[\bar{S}(\lambda) - S_1(\lambda)\right]^2\right\}^{1/2}}{\bar{S}(\lambda)[n(n-1)]^{1/2}}, \qquad (2.22)$$

где $n$ — число независимых измерений.

Суммарное относительное среднеквадратическое отклонение результата измерения ОСЧ $S_\Sigma$ рассчитывают по формуле

$$S_\Sigma = (S_O^2 + \Theta_O^2 / 3)^{1/2}, \qquad (2.23)$$

где $\Theta_O$ — граница относительной неисключенной систематической погрешности результатов измерений ОСЧ, определяемая погрешностью РЭ ЭО и ПИ по ГОСТ 8.552.

Значение суммарного СКО результата измерений ОСЧ должно быть не более 3 %.

При измерении ОСЧ каналов УФ МКР в диапазоне длин волн 0,38 — 1,1 мкм спектральное разрешение монохроматора выбирают в пределах 5 нм. В качестве источника излучения используют лампу накаливания типа КГМ 12-100, а в качестве эталонного приемника

излучения — кремниевый фотодиод типа ФД-288К. Для каждого канала измерения проводят с шагом 10 нм.

По результатам измерений ОСЧ УФ МКР определяют погрешность спектральной коррекции, вызванную отклонением реальной относительной спектральной чувствительности $S(\lambda)$ поверяемого УФ МКР от стандартной $S^{ст}(\lambda)$. Стандартная относительная спектральная чувствительность каждого канала УФ МКР $S^{ст}(\lambda_0) = 1$ на рабочей длине волны $\lambda_0$. Вне рабочей длины волны $S^{ст}(\lambda) = 0$. Погрешность спектральной коррекции УФ МКР $\Theta_1$, %, рассчитывают по формуле

$$\Theta_1 = 100 \left| \frac{E^{ст}(\lambda_0) \cdot \int_{0,2}^{1,1} E(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda}{E(\lambda_0) \int_{0,2}^{1,1} E^{ст}(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda} - 1 \right|, \qquad (2.24)$$

где $E^{ст}(\lambda_0)$ — относительная спектральная плотность энергетической освещенности стандартного источника УФ излучения на рабочей длине волны $\lambda_0$;

$E(\lambda_0)$ — относительная спектральная плотность энергетической освещенности стандартного источника УФ излучения на рабочей длине волны $\lambda_0$;

$E^{ст}(\lambda)$ — относительная спектральная плотность энергетической освещенности стандартного источника УФ излучения;

$E(\lambda)$ — относительная спектральная плотность энергетической освещенности контрольного источника УФ излучения.

Для определения возможности применения поверяемого УФ МКР для озонного мониторинга в соответствии с настоящим стандартом установлены стандартный и контрольный источники излучения. Табулированные значения $E^{ст}(\lambda)$ и $E(\lambda)$ приведены в табл. 2.7, 2.8. Расчет $\Theta_1$ по формуле (2.24) выполняют с использованием специально разработанных компьютерных программ. Для УФ МКР значение погрешности спектральной коррекции $\Theta_1$ должно быть не более 2 %.

Таблица 2.7

**Значения $E^{ст}(\lambda)$ стандартного источника излучения — типа D65**

| Длина волны, нм | $E^{ст}(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E^{ст}(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E^{ст}(\lambda)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 300 | $1{,}29 \cdot 10^{-4}$ | 330 | $2{,}95 \cdot 10^{-1}$ | 360 | $3{,}74 \cdot 10^{-1}$ |
| 310 | $2{,}83 \cdot 10^{-2}$ | 340 | $3{,}20 \cdot 10^{-1}$ | 370 | $4{,}18 \cdot 10^{-1}$ |
| 320 | $1{,}57 \cdot 10^{-1}$ | 350 | $3{,}58 \cdot 10^{-1}$ | 380 | $3{,}97 \cdot 10^{-1}$ |

*Окончание табл. 2.7*

| Длина волны, нм | $E^{ст}(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E^{ст}(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E^{ст}(\lambda)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 390 | $4{,}36 \cdot 10^{-1}$ | 630 | $7{,}36 \cdot 10^{-1}$ | 870 | $4{,}88 \cdot 10^{-1}$ |
| 400 | $6{,}99 \cdot 10^{-1}$ | 640 | $7{,}45 \cdot 10^{-1}$ | 880 | $4{,}79 \cdot 10^{-1}$ |
| 410 | $7{,}75 \cdot 10^{-1}$ | 650 | $7{,}15 \cdot 10^{-1}$ | 890 | $4{,}72 \cdot 10^{-1}$ |
| 420 | $7{,}92 \cdot 10^{-1}$ | 660 | $7{,}20 \cdot 10^{-1}$ | 900 | $4{,}67 \cdot 10^{-1}$ |
| 430 | $7{,}34 \cdot 10^{-1}$ | 670 | $7{,}43 \cdot 10^{-1}$ | 910 | $4{,}57 \cdot 10^{-1}$ |
| 440 | $8{,}88 \cdot 10^{-1}$ | 680 | $7{,}10 \cdot 10^{-1}$ | 920 | $2{,}38 \cdot 10^{-1}$ |
| 450 | $9{,}92 \cdot 10^{-1}$ | 690 | $6{,}30 \cdot 10^{-1}$ | 930 | $9{,}50 \cdot 10^{-2}$ |
| 460 | 1,000 | 700 | $6{,}50 \cdot 10^{-1}$ | 940 | $1{,}44 \cdot 10^{-1}$ |
| 470 | $9{,}76 \cdot 10^{-1}$ | 710 | $6{,}71 \cdot 10^{-1}$ | 950 | $1{,}34 \cdot 10^{-1}$ |
| 480 | $9{,}85 \cdot 10^{-1}$ | 720 | $5{,}55 \cdot 10^{-1}$ | 960 | $1{,}52 \cdot 10^{-1}$ |
| 490 | $9{,}27 \cdot 10^{-1}$ | 730 | $6{,}29 \cdot 10^{-1}$ | 970 | $2{,}23 \cdot 10^{-1}$ |
| 500 | $9{,}33 \cdot 10^{-1}$ | 740 | $6{,}76 \cdot 10^{-1}$ | 980 | $4{,}25 \cdot 10^{-1}$ |
| 510 | $9{,}21 \cdot 10^{-1}$ | 750 | $5{,}72 \cdot 10^{-1}$ | 990 | $4{,}32 \cdot 10^{-1}$ |
| 520 | $8{,}96 \cdot 10^{-1}$ | 760 | $4{,}18 \cdot 10^{-1}$ | 1000 | $4{,}38 \cdot 10^{-1}$ |
| 530 | $9{,}21 \cdot 10^{-1}$ | 770 | $6{,}02 \cdot 10^{-1}$ | 1010 | $4{,}65 \cdot 10^{-1}$ |
| 540 | $8{,}95 \cdot 10^{-1}$ | 780 | $5{,}70 \cdot 10^{-1}$ | 1020 | $4{,}83 \cdot 10^{-1}$ |
| 550 | $8{,}93 \cdot 10^{-1}$ | 790 | $5{,}79 \cdot 10^{-1}$ | 1030 | $4{,}66 \cdot 10^{-1}$ |
| 560 | $8{,}59 \cdot 10^{-1}$ | 800 | $5{,}35 \cdot 10^{-1}$ | 1040 | $4{,}48 \cdot 10^{-1}$ |
| 570 | $8{,}29 \cdot 10^{-1}$ | 810 | $4{,}67 \cdot 10^{-1}$ | 1050 | $4{,}32 \cdot 10^{-1}$ |
| 580 | $8{,}27 \cdot 10^{-1}$ | 820 | $5{,}17 \cdot 10^{-1}$ | 1060 | $4{,}22 \cdot 10^{-1}$ |
| 590 | $7{,}70 \cdot 10^{-1}$ | 830 | $5{,}43 \cdot 10^{-1}$ | 1070 | $4{,}11 \cdot 10^{-1}$ |
| 600 | $7{,}86 \cdot 10^{-1}$ | 840 | $4{,}02 \cdot 10^{-1}$ | 1080 | $4{,}01 \cdot 10^{-1}$ |
| 610 | $7{,}86 \cdot 10^{-1}$ | 850 | $3{,}23 \cdot 10^{-1}$ | 1090 | $3{,}72 \cdot 10^{-1}$ |
| 620 | $7{,}73 \cdot 10^{-1}$ | 860 | $4{,}96 \cdot 10^{-1}$ | 1100 | $4{,}13 \cdot 10^{-1}$ |

Таблица 2.8

**Значения $E(\lambda)$ контрольного источника излучения — ксеноновой лампы**

| Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 200 | $1{,}92 \cdot 10^{-4}$ | 300 | $6{,}39 \cdot 10^{-2}$ | 400 | $1{,}55 \cdot 10^{-1}$ |
| 210 | $5{,}51 \cdot 10^{-3}$ | 310 | $7{,}55 \cdot 10^{-2}$ | 410 | $1{,}49 \cdot 10^{-1}$ |
| 220 | $2{,}16 \cdot 10^{-2}$ | 320 | $8{,}65 \cdot 10^{-2}$ | 420 | $1{,}56 \cdot 10^{-1}$ |
| 230 | $2{,}60 \cdot 10^{-2}$ | 330 | $9{,}52 \cdot 10^{-2}$ | 430 | $1{,}56 \cdot 10^{-1}$ |
| 240 | $2{,}84 \cdot 10^{-2}$ | 340 | $1{,}04 \cdot 10^{-1}$ | 440 | $1{,}62 \cdot 10^{-1}$ |
| 250 | $3{,}37 \cdot 10^{-2}$ | 350 | $1{,}04 \cdot 10^{-1}$ | 450 | $1{,}78 \cdot 10^{-1}$ |
| 260 | $4{,}04 \cdot 10^{-2}$ | 360 | $1{,}24 \cdot 10^{-1}$ | 460 | $1{,}94 \cdot 10^{-1}$ |
| 270 | $4{,}62 \cdot 10^{-2}$ | 370 | $1{,}35 \cdot 10^{-1}$ | 470 | $2{,}55 \cdot 10^{-1}$ |
| 280 | $5{,}19 \cdot 10^{-2}$ | 380 | $1{,}37 \cdot 10^{-1}$ | 480 | $1{,}92 \cdot 10^{-1}$ |
| 290 | $5{,}96 \cdot 10^{-2}$ | 390 | $1{,}44 \cdot 10^{-1}$ | 490 | $1{,}88 \cdot 10^{-1}$ |

*Окончание табл. 2.8*

| Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ | Длина волны, нм | $E(\lambda)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 500 | $1{,}79 \cdot 10^{-1}$ | 710 | $7{,}50 \cdot 10^{-2}$ | 910 | $4{,}10 \cdot 10^{-1}$ |
| 510 | $1{,}62 \cdot 10^{-1}$ | 720 | $1{,}36 \cdot 10^{-1}$ | 920 | 1,000 |
| 520 | $1{,}62 \cdot 10^{-1}$ | 730 | $9{,}47 \cdot 10^{-2}$ | 930 | $1{,}14 \cdot 10^{-1}$ |
| 530 | $1{,}57 \cdot 10^{-1}$ | 740 | $1{,}17 \cdot 10^{-1}$ | 940 | $3{,}92 \cdot 10^{-1}$ |
| 540 | $1{,}56 \cdot 10^{-1}$ | 750 | $9{,}76 \cdot 10^{-2}$ | 950 | $3{,}17 \cdot 10^{-1}$ |
| 550 | $1{,}79 \cdot 10^{-1}$ | 760 | $1{,}30 \cdot 10^{-1}$ | 960 | $2{,}69 \cdot 10^{-1}$ |
| 560 | $1{,}47 \cdot 10^{-1}$ | 770 | $1{,}75 \cdot 10^{-1}$ | 970 | $6{,}92 \cdot 10^{-2}$ |
| 570 | $1{,}40 \cdot 10^{-1}$ | 780 | $6{,}54 \cdot 10^{-2}$ | 980 | $1{,}87 \cdot 10^{-1}$ |
| 580 | $1{,}37 \cdot 10^{-1}$ | 790 | $9{,}18 \cdot 10^{-2}$ | 990 | $5{,}24 \cdot 10^{-1}$ |
| 590 | $1{,}43 \cdot 10^{-1}$ | 800 | $1{,}06 \cdot 10^{-1}$ | 1000 | $4{,}90 \cdot 10^{-1}$ |
| 600 | $1{,}32 \cdot 10^{-1}$ | 810 | $1{,}28 \cdot 10^{-1}$ | 1010 | $2{,}09 \cdot 10^{-1}$ |
| 610 | $1{,}13 \cdot 10^{-1}$ | 820 | $3{,}72 \cdot 10^{-1}$ | 1020 | $8{,}94 \cdot 10^{-2}$ |
| 620 | $1{,}42 \cdot 10^{-1}$ | 830 | $9{,}42 \cdot 10^{-1}$ | 1030 | $9{,}95 \cdot 10^{-2}$ |
| 630 | $1{,}32 \cdot 10^{-1}$ | 840 | $3{,}41 \cdot 10^{-1}$ | 1040 | $2{,}79 \cdot 10^{-2}$ |
| 640 | $1{,}26 \cdot 10^{-1}$ | 850 | $3{,}13 \cdot 10^{-2}$ | 1050 | $3{,}32 \cdot 10^{-2}$ |
| 650 | $1{,}12 \cdot 10^{-1}$ | 860 | $1{,}05 \cdot 10^{-1}$ | 1060 | $2{,}02 \cdot 10^{-2}$ |
| 660 | $1{,}17 \cdot 10^{-1}$ | 870 | $1{,}25 \cdot 10^{-1}$ | 1070 | $9{,}33 \cdot 10^{-2}$ |
| 670 | $1{,}07 \cdot 10^{-1}$ | 880 | $9{,}96 \cdot 10^{-1}$ | 1080 | $3{,}70 \cdot 10^{-2}$ |
| 680 | $1{,}02 \cdot 10^{-1}$ | 890 | $3{,}46 \cdot 10^{-1}$ | 1090 | $2{,}12 \cdot 10^{-2}$ |
| 690 | $1{,}38 \cdot 10^{-1}$ | 900 | $5{,}87 \cdot 10^{-1}$ | 1100 | $2{,}93 \cdot 10^{-2}$ |
| 700 | $1{,}19 \cdot 10^{-1}$ | | | | |

1.2 Определение погрешности измерений абсолютной чувствительности УФ МКР в диапазоне длин волн 0,28—0,40 мкм

При измерении абсолютной чувствительности каналов УФ МКР в качестве источника излучения используют дейтериевую лампу типа ЛД(Д) в составе РЭ СПЭО по ГОСТ 8.197. На расстоянии 0,3 м от лампы на оптической скамье устанавливают поверяемый УФ МКР. Измерения сигналов $i_\lambda$ в вольтах каждого канала поверяемого прибора проводят 10 раз. Значение абсолютной чувствительности (АЧ) $S_\lambda$ В · м$^3$ /Вт, каждого канала поверяемого УФ МКР рассчитывают по формуле

$$S_\lambda = i_\lambda / E_\lambda, \tag{2.25}$$

где $E_\lambda$ — значение СПЭО лампы типа ЛД(Д), В/м$^3$.

Определяют среднее арифметическое значение АЧ поверяемого УФ МКР, суммарное СКО результатов измерений с учетом погрешности РЭ СПЭО. Погрешности измерений АЧ $\Theta_2$ поверяемого УФ МКР определяются погрешностью РЭ СПЭО по ГОСТ 8.195. Значение $\Theta_2$ должно быть не более 4 %.

1.3 Определение погрешности, обусловленной отклонением значения коэффициента линейности УФ МКР от единицы. Определение границ диапазона измерений СПЭО

Измерение коэффициента линейности каналов УФ МКР проводят для определения границ диапазона измерений СПЭО. Коэффициент линейности определяют по отклонению реального значения АЧ канала УФ МКР от постоянного значения в диапазоне измерений СПЭО. На оптической скамье устанавливают два источника УФ излучения — лампы типа ДКсШ-120. Расстояние между поверяемым УФ МКР и источниками излучения выбирают таким образом, чтобы показания УФ МКР соответствовали нижней границе диапазона измерений СПЭО, приведенной в паспорте поверяемого УФ МКР и составляющей не более $10^6$ Вт/м$^3$. Определяют показания поверяемого УФ МКР отдельно от каждого из двух источников излучения $i_1$ и $i_2$ и суммарное показание $i_\Sigma$ от двух источников излучения в вольтах. Измерения проводят поочередно 5 раз с использованием экранирующих заслонок. Определяют среднее арифметическое значение показаний, относительное СКО $S_O$, относительное суммарное СКО $S_{\Sigma_O}$ — результатов измерений.

Коэффициент линейности $G$ в относительных единицах и погрешность $\Theta_3$, вызванную отклонением коэффициента линейности УФ МКР от единицы, %, рассчитывают по формулам:

$$G = i_\Sigma/(i_1 + i_2), \tag{2.26}$$

$$\Theta_3 = 100\,(G - 1). \tag{2.27}$$

При определении границ диапазона измерений СПЭО поверяемого УФ МКР расстояние от источников излучения до прибора уменьшают таким образом, чтобы значение СПЭО от каждого источника излучения увеличилось на порядок. Определяют показания $i_1$, $i_2$, $i_\Sigma$ и рассчитывают соответствующее значение погрешности $\Theta_3$. Измерения повторяют, увеличивая значения СПЭО на порядок, до достижения верхней границы рабочего диапазона измерений СПЭО канала УФ МКР. По результатам измерений определяют границы рабочего диапазона измерений СПЭО поверяемого УФ МКР, в пределах которых значение $\Theta_3$ для каждого канала УФ МКР не превышает 2 %.

1.4 Определение основной относительной погрешности УФ МКР проводят в соответствии с ГОСТ 8.207

Относительное среднее квадратическое отклонение $S_O$ результатов $n$ независимых измерений определяют по формуле (2.22).

СКО $S_O$, которое должно быть не более 1 % для всех каналов УФ МКР.

Границу относительной неисключенной систематической погрешности (НСП) $\Theta_O$, %, определяют по формуле

$$\Theta_o = 1{,}1\left(\sum_{i=1}^{3}\Theta_j^2\right)^{1/2}, \qquad (2.28)$$

где $\Theta_j$ — граница $j$-й неисключенной систематической погрешности.

Источниками НСП являются:

$\Theta_1$ — погрешность, определяемая чувствительностью каналов за пределами основного рабочего диапазона ($\Theta_1$—2 %);

$\Theta_2$ — погрешность измерений абсолютной чувствительности ($\Theta_2$ — 4 %);

$\Theta_3$ — погрешность, определяемая коэффициентом линейности ($\Theta_3$ — 2 %).

Граница относительной НСП УФ МКР не должна превышать 6 %.

Суммарное относительное среднее квадратическое отклонение результатов измерений СПЭО $S$ определяют по формуле (2.23).

Предел допускаемой основной относительной погрешности рассчитывают по формуле

$$\Delta_O = KS_{\Sigma O}, \qquad (2.29)$$

где $K$ — коэффициент, определяемый соотношением случайной и систематической погрешностей.

Для УФ МКР $\Theta_O > 8S_O$, случайной погрешностью по сравнению с систематической пренебрегают и принимают $\Delta_O = \Theta_O$.

Результаты поверки УФ МКР считают положительными, если предел допускаемой основной относительной погрешности не превышает 6 %.

* * *

Воздействие оптического излучения ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов на организм человека является важным фактором риска. Международные, национальные и региональные организации проводят большую работу по установлению основных характеристик, описывающих действие оптического излучения на организм человека. В последние годы все больше внимания уделяется установлению новых эффективных характеристик оптического излучения, основанных на многочисленных медицинских и гигиенических исследованиях, статистическом анализе связи физических факторов природной и производственной среды и возникновения заболеваний различной степени тяжести. Международными и национальными техническими комитетами проводится разработка единых норм для контроля характеристик оптического излучения, требований к методам и средствам измерений. Важнейшей особенностью развития парка средств измерений характеристик оптического диа-

пазона является создание нового поколения компьютерных многоканальных приборов, отличающихся возможностью автоматического контроля достоверности измерительной информации Разработанные в последние годы нормативные документы, методы и средства измерений позволяют проводить надежный контроль неблагоприятного воздействия на организм человека ультрафиолетового, видимого и инфракрасного излучения

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛ. 2


1 ГОСТ 8 195—89 ГСИ Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения и спектральной плотности энергетической освещенности в диапазоне длин волн 0,25 –25,00 мкм, силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн 0,2–25,0 мкм

2 ГОСТ 8 197—86 ГСИ Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерении спектральной плотности энергетической яркости оптического излучения в диапазоне длин волн 0,04 – 0,25 мкм

3 ГОСТ 8 552—2001 ГСИ Государственная поверочная схема для средств измерений потока излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн от 0,03 до 0,40 мкм

4 ГОСТ 8 558—93 ГСИ Государственная поверочная схема для средств измерений температуры

5 ГОСТ 8 588—2001 ГСИ Радиометры ультрафиолетового излучения для озонного мониторинга Методика поверки

6 ГОСТ 8 207—76 ГСИ Прямые измерения с многократными наблюдениями Методы обработки результатов наблюдении Основные положения

7 ПР 50 2 006—94 ГСИ Порядок проведения поверки средств измерений

8 ПР 50 2 012—94 ГСИ Порядок аттестации поверителеи средств измерений

9 СанПиН 4557—88 Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях

10 МСанПиН 1—96 Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях

11 СанПиН 5804—91 Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров

12 СанПиН 2 2 4 548—96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

13. СНиП 23-05—95. Естественное и искусственное освещение.

14. Р 2.2.755—99. Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.

15. МУ 2.2.4.706—98/ МУ ОТ РН 01—98. Оценка освещения рабочих мест.

16. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: Энергоатомиздат, 1986 г.—94 с.

17. CIE №53 Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers. — 1982. — 24 p.

18. EN 60335-2—27/A51. Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke. Teil 2: Besondere Anfonderungen für Hautbehandlungs Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke mit Ultraviolett- und Infrarorstrahlung.

19. DECRET 97—617 du 30 mai 1997 relatif a la vente et a la mise a disposition du public de certains appareils de bronzage utilisant des rayonnements ultraviolets. JORF, 1997.

20. CIE «Referent UV-Erythema Action Spectrum». Research Note in the CIE-Journal 6/1. 1987. — N1. — S.17 — 22.

21. WMO Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6-th edition, WMO (World Meteorological Organization), 1996, WMO-8.

22. WMO Global atmosphere watch guide. WMO edition (WMO-86).

23. Report of the WMO meeting of experts on the quality assurance / Science experts and methods of the global atmosphere watch. WMO edition (WMO-113).

24. CGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) TLVs and BEIs; Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents; Biological Exposure Indices, Cincinnati, ACGIH, 1987.

25. Комиссия по приборам и методам наблюдений.12-я сессия Всемирной метеорологической организации. Касабланка. 4.12.98. Сокращенный и окончательный отчет с резолюциями.

26. Ультрафиолетовое излучение. — Женева: ВОЗ, 1995. — 315 с.

27. ГКСОС. Гигиенический критерий состояния окружающей среды 160. Ультрафиолетовое излучение. — Женева: ВОЗ, 1995.

28. Контроль физических факторов производственной среды, опасных для человека (гл.5, авт. С.И. Аневский, В.С. Иванов, Ю.М. Золотаревский и др.)./ Под ред. В.Н. Крутикова, Ю.И. Брегадзе, А.Б. Круглова. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. — 488 с.

29. Освещение на производстве. Инфракрасное и ультрафиолетовое излучение/Под ред. Н.Ф. Измерова. — М.: 1999.

30. J.F.Ready. Effects of light-power laser radiation. Academic Press. — New-York — London, 1974.

# Глава 3. ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Ю. И. Брегадзе, П. Ф. Масляев

Излучения, испускаемые в процессе ядерных превращений (потоки альфа- или бета-частиц, протонов, нейтронов, фотонов), при прохождении через среду проявляют особые свойства, которые принципиально отличают эти излучения от традиционных и известных ранее (радиоволны, видимый свет, ультрафиолетовое и инфракрасное излучения).

*Обладая высокой начальной энергией, излучения, образующиеся* при ядерных превращениях, легко пронизывают рой электронов, окружающих ядро, и в процессе взаимодействия с ними могут существенно изменить энергетическое состояние атома. Такими типичными процессами являются отрыв электрона от атома (ионизация) или перевод электрона с более глубокой, т. е. ближе расположенной к ядру оболочки, на более удаленную (возбуждение атома). Таким образом, по характеру взаимодействия с атомами и молекулами среды, излучения, испускаемые при радиоактивном распаде и ядерных превращениях, относятся к классу излучений, которые называются ионизирующими. К ним относятся также элементарные частицы, генерируемые на ускорителях, рентгеновское и тормозное фотонное излучение.

Ионизирующие излучения разделяют на непосредственно и косвенно ионизирующие излучения. К первому относятся потоки заряженных частиц: в частности альфа-, бета-, протоны, а также другие элементарные частицы или ионы различных атомов, генерируемых на ускорителях. Заряженные частицы, проходя через вещество, взаимодействуют преимущественно с электронами атомов и молекул среды. В процессе элементарных актов взаимодействия с электроном заряженная частица расходует часть своей энергии на отрыв электрона от атома. Лишенный одного или нескольких электронов атом оказывается заряженным положительно. Наряду с ионизацией, в процессе взаимодействия возможен перевод электрона с более близко расположенной к ядру оболочки на более удаленную — возбуждение атома. При этом, примерно половина энергии, переданной иони-

зирующим излучением веществу в процессе взаимодействия, расходуется на ионизацию, а половина — на возбуждение. В облучаемом веществе, в частности, в биологической ткани, такое выделение энергии приводит к цепочке химических реакций и в результате к определенному биологическому эффекту.

К косвенно ионизирующему излучению относятся гамма-излучение, а также тормозное (рентгеновское) излучение, генерируемое в рентгеновских трубках или различного типа ускорителях (фотоны широкого спектра энергий). Наряду с этим, к классу косвенно ионизирующего излучения относятся нейтроны и другие нейтральные элементарные частицы, образующиеся в процессе ядерных превращений.

Фотон не обладает зарядом, поэтому непосредственно ионизации не производит. В процессе прохождения через вещество фотон также взаимодействует в основном с электронами атома, при этом в каждом акте взаимодействия передает электрону часть или всю свою энергию. Образованные, так называемые вторичные электроны, в последующих процессах взаимодействия производят ионизацию и возбуждение атомов. Таким образом, ионизация происходит не в первичных актах взаимодействия фотонов с веществом, а как результат передачи энергии веществу вторичными заряженными частицами.

Взаимодействие нейтронов с веществом, вернее с ядрами атомов, существенно отличается от взаимодействия фотонов и непосредственно ионизирующего излучения. Нейтроны любых энергий взаимодействуют с ядрами атомов среды. В этом случае ядра атомов, получившие в результате такого взаимодействия часть кинетической энергии нейтрона (ядра отдачи), «выскакивают» из электронной оболочки и, будучи положительно заряженными, при своем движении в веществе производят ионизацию. Ядра отдачи — это лишь один из результатов взаимодействия нейтронов с веществом. Он присущ, в первую очередь, нейтронам, обладающим большой энергией (больше 200 кэВ), так называемым быстрым нейтронам. Помимо этого, при взаимодействии нейтронов с веществом возможны ядерные реакции, сопровождаемые вылетом заряженных частиц различного типа и фотонов; возможно также деление ядра. При некоторых ядерных реакциях образуются искусственные радионуклиды, которые не входили в состав данного вещества. Таким образом, взаимодействие нейтронов с веществом имеет своим следствием образование целого набора различного сорта вторичных заряженных частиц или фотонов, которые в конечном итоге производят ионизацию.

Все источники ионизирующих излучений можно разделить на три группы:

природные, которые существуют с момента образования планеты. К ним относятся космическое излучение и естественно-радиоактивные нуклиды, содержащиеся в земной коре и объектах окружающей среды;

техногенные. Это источники, образуемые за счет локального изменения распределения естественных источников радиации, что приводит к изменению уровня радиационного воздействия в отдельных регионах или при определенных условиях жизнедеятельности;

антропогенные. Источники радиации, созданные человеком. Это рентгеновские аппараты, ускорители, ядерные реакторы, термоядерные установки, искусственные радионуклиды.

На основании результатов многочисленных радиобиологических экспериментов в течение нескольких последних десятилетий неоднократно менялась концепция нормирования действия ионизирующих излучений на человека, в том числе на профессионально работающих в условиях воздействия этого потенциально опасного физического фактора. Менялись не только дозовые пределы, но и величины, характеризующие воздействие этого вида радиации на организм человека.

Введение в действие новых Норм радиационной безопасности — НРБ-99 [35] и Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности — ОСПОРБ-99 [36] было вызвано необходимостью учитывания опыта ликвидации катастрофы на Чернобыльской АЭС и потребностью существенного изменения системы обеспечения радиационной безопасности и в первую очередь — коренной перестройки научно-методического и приборного обеспечения этой системы.

## 3.1. Характеристики источников и полей ионизирующих излучений, степени воздействия излучений на объекты

Для характеристики источников ионизирующих излучений, полей ионизирующих излучений и взаимодействия ионизирующих излучений с облучаемыми объектами используется множество различных физических величин, предложенных как международными организациями, такими как Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ, ICRU) и Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ, ICRP) [27, 29, 33, 34],

так и отечественными нормативными документами [6, 11, 15]. Остановимся лишь на важнейших.

Основной величиной, характеризующей радионуклидный источник, является активность радионуклида в источнике.

***Активность*** — отношение числа $dN$ спонтанных переходов из определенного ядерно-энергетического состояния радионуклида, происходящих в источнике (образце) за интервал времени $dt$, к этому интервалу времени

$$A = dN / dt.$$

Единицей измерения активности в Международной системе единиц (СИ) является обратная секунда — $с^{-1}$ (распад в секунду), имеющая специальное название беккерель (Бк). Соотношение между внесистемной единицей кюри и единицей беккерель: 1 Ки = $= 3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк.

На практике широко используются производные от активности величины: удельная активность источника и объемная активность источника.

***Удельная активность источника*** — отношение активности $A$ радионуклида в источнике (образце) к массе $m$ источника (образца) или к массе элемента соединения

$$A_m = A / m.$$

Единица измерения удельной активности источника — Бк/кг.

***Объемная активность источника*** — отношение активности $A$ радионуклида в источнике (образце) к его объему $V$

$$A_v = A / V.$$

Единица измерения объемной активности источника — $Бк/м^3$.

Специфической величиной, производной от объемной активности и используемой для характеристики радона и торона во вдыхаемом воздухе, является *эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона ($^{222}Rn$) и торона ($^{220}Rn$)*. ЭРОА — это объемная активность радона (торона), находящегося в равновесии с короткоживущими дочерними продуктами, имеющими то же значение скрытой энергии, что и короткоживущие дочерние продукты данной неравновесной смеси. При этом

$$(\text{ЭРОА})_{R_n} = f_{R_n} \cdot C_{R_n},$$

$$(\text{ЭРОА})_{T_n} = f_{T_n} \cdot C_{T_n},$$

где $f_{R_n}$ и $f_{T_n}$ — коэффициенты равновесия радона и торона с короткоживущими дочерними продуктами их распада;

$C_{R_n}$ и $C_{T_n}$ — объемные активности радона и торона.

Для характеристики поля излучения используется ряд радиометрических и дозиметрических величин.

***Флюенс частиц*** — отношение числа частиц $dN$, проникающих в элементарную сферу, к площади центрального сечения $dS$ этой сферы

$$\Phi = dN / dS.$$

***Плотность потока частиц*** — флюенс за единицу времени

$$\varphi = d\Phi / dt.$$

***Экспозиционная доза*** — отношение суммарного заряда $dQ$ всех ионов одного знака, созданных в воздухе, когда все электроны и позитроны, освобожденные фотонами в элементарном объеме воздуха с массой $dm$, полностью остановились в воздухе, к массе воздуха в указанном объеме

$$X = dQ / dm.$$

Единица СИ экспозиционной дозы — кулон на килограмм (Кл/кг). На практике используется внесистемная единица экспозиционной дозы — рентген (Р). Соотношение между этими единицами: $1\ \text{Р} = 2{,}58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

В течение нескольких десятилетий экспозиционная доза и ее мощность были по существу единственными величинами, характеризующими поле ионизирующих излучений. Эти величины наносились на шкалы приборов многочисленных типов. Недостатком этих величин было то, что они являлись характеристиками поля только фотонного излучения и плохо коррелировали с эффектами, возникающими в объектах под действием облучения. В настоящее время выпуск приборов для измерений экспозиционной дозы и ее мощности прекращен.

Целый ряд величин был введен в дальнейшем на основе энергии излучения, передаваемой веществу, находящемуся в радиационном поле. Основной из них является поглощенная доза.

***Поглощенная доза*** — отношение средней энергии $de$, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе $dm$ вещества в этом объеме

$$D = de / dm.$$

Единицей поглощенной дозы в СИ является Дж/кг, имеющая специальное название грей (Гр). Соотношение между ранее используемой единицей измерения поглощенной дозы рад и Гр: 1 рад = = 0,01 Гр = 10 мГр. Поглощенная доза может использоваться для характеристики воздействия всех видов ионизирующих излучений в любой точке облучаемого объекта.

Чтобы охарактеризовать поле излучения в отсутствие облучаемого объекта, в РД 50—454—84 [11] введена величина — полевая поглощенная доза.

***Полевая поглощенная доза*** — поглощенная доза в центре шара радиусом 1 г/см$^2$ из рассматриваемого вещества, совмещенном с точкой поля ионизирующего излучения, в которой она определяется.

Если известен флюенс частиц и их спектральное распределение, для характеристики поля излучения, как в отсутствии объекта, так и внутри него используется величина, получившая название кермы. Эта величина применима для характеристики поля только косвенно ионизирующего излучения, чаще всего поля нейтронного излучения.

Поглощенная доза, характеризующая воздействие ионизирующего излучения на облучаемый объект, не может достаточно адекватно служить мерой биологического действия на живой организм. Это связано с тем, что биологический эффект зависит не только от величины поглощенной энергии, но и ряда других параметров, обусловленных характером и условиями облучения (равномерность распределения поглощенной дозы в организме, дробность облучения, мощность дозы и т. д.). Существенным фактором является плотность ионизации, производимой частицами при их прохождении через среду (или линейная передача энергии, ЛПЭ). Поскольку плотность ионизации, например, у альфа-частиц значительно больше, чем у бета-частиц (электронов), то биологический эффект при одной и той же поглощенной дозе будет больше при облучении альфа-частицами, чем бета-частицами или гамма-излучением.

Поэтому в целях радиационной безопасности, где реализуются условия облучения в малых дозах, введена дозиметрическая величина — эквивалентная доза $H_{TR}$, позволяющая оценить возможный ущерб здоровью человека при хроническом воздействии ионизирующего излучения произвольного состава.

***Эквивалентная доза*** — произведение средней поглощенной дозы $D_{TR}$ от излучения $R$ в ткани или органе $T$ на взвешивающий коэффициент для данного излучения $w_R$

$$H_{TR} = w_R \cdot D_{TR}.$$

Значения $w_R$ установлены на основе обобщения и анализа эффектов воздействия излучений разных видов на биологические объекты при очень малых дозах (до нескольких десятков мГр). В НРБ-99 ус-

танавливаются следующие, заимствованные из рекомендаций МКРЗ [29], значения для взвешивающих коэффициентов излучений:

| | |
|---|---|
| Фотоны любых энергий | 1 |
| Электроны и мюоны любых энергий | 1 |
| Нейтроны с энергий менее 10 кэВ | 5 |
| от 10 кэВ до 100 кэВ | 10 |
| от 100 кэВ до 2 МэВ | 20 |
| от 2 МэВ до 20 МэВ | 10 |
| более 20 МэВ | 5 |
| Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи | 5 |
| Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра | 20 |

Примечание — Все значения относятся к излучению, падающему на тело, а в случае внутреннего облучения — испускаемому при ядерном превращении.

При воздействии различных видов излучений с различными взвешивающими коэффициентами излучений эквивалентная доза в органе определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения

$$H_T = \Sigma_R H_{TR}.$$

Единицей эквивалентной дозы в СИ является Дж/кг, имеющая специальное наименование зиверт (Зв). Внесистемная единица эквивалентной дозы — бэр; 1 бэр = 0,01 Зв = 10 мЗв.

Поскольку органы и ткани человека обладают различной радиочувствительностью, то для оценки эффекта облучения всего организма используется понятие эффективной дозы $E$. Она так же, как и эквивалентная доза применима только для хронического облучения в малых дозах и является мерой оценки выхода отдаленных последствий облучения. Эффективная доза $E$ — основная дозиметрическая величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека или отдельных органов с учетом их радиочувствительности.

***Эффективная доза*** — сумма произведений эквивалентной дозы в органе $H_T$ на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного органа или ткани $w_T$

$$E = \Sigma w_T \cdot H_T.$$

Подход к выбору значений взвешивающих коэффициентов для органов и тканей на основе анализа информации об относительном вкладе отдельных органов и тканей в суммарный ущерб при облучении человека в малых дозах приведен в рекомендациях МКРЗ [29].

В НРБ-99 устанавливаются следующие значения взвешивающих коэффициентов для тканей и органов при расчете эффективной дозы:

| | |
|---|---|
| Гонады | 0,20 |
| Костный мозг (красный) | 0,12 |
| Толстый кишечник (прямая, сигмовидная, нисходящая часть ободочной кишки) | 0,12 |
| Легкие | 0,12 |
| Желудок | 0,12 |
| Мочевой пузырь | 0,05 |
| Грудная железа | 0,05 |
| Печень | 0,05 |
| Пищевод | 0,05 |
| Щитовидная железа | 0,05 |
| Кожа | 0,01 |
| Клетки костных поверхностей | 0,01 |
| Прочие органы | 0,05 |
| | $\Sigma w_T = 1$ |

Как будет изложено далее, именно эквивалентная и эффективная дозы являются основными величинами, нормируемыми при оценке хронического воздействия на организм человека ионизирующей радиации.

Эффективная доза является величиной, которая не может быть непосредственно измерена дозиметрическими приборами. Поэтому МКРЕ [33], а затем и отечественные нормативные документы [11, 15] ввели ряд новых дозиметрических величин, получивших название эквидозиметрических.

Основной величиной в этой группе величин является эквивалент дозы.

***Эквивалент дозы*** — произведение поглощенной дозы в данном элементе объема биологической ткани стандартного состава $D$ на средний коэффициент качества ионизирующего излучения $k$ в этом элементе объема

$$H = D \cdot k.$$

С помощью безразмерного коэффициента качества учитывается различие в биологическом действии разных видов излучения. Значения коэффициента качества регламентируются эмпирически устанавливаемой по радиобиологическим и эпидемиологическим данным зависимостью от линейной передачи энергии (ЛПЭ), $L$. Коэффициент качества излучения определен МКРЗ как

$$k(L)=\begin{cases}1 & \text{при } L\le 10,\\ 0{,}32\times L-2{,}2 & \text{при } 10<L<100,\\ 300/\sqrt{L} & \text{при } L\ge 100,\end{cases}$$

где $L$ выражена в кэВ/мкм.

Примечание — Эта величина, введенная МКРЗ в публикации 6 [27], называлась dose equivalent, что соответствует переводу на русский язык как эквивалент дозы, однако на русский язык этот термин был переведен как эквивалентная доза [11]. С введением МКРЗ новой величины equivalent dose [29] и включением ее в НРБ-99 с наименованием эквивалентная доза (см. выше) целесообразно, чтобы избежать путаницы, изменить ранее используемый термин «эквивалентная доза» на более правильный термин «эквивалент дозы».

Эквивалент дозы используется для определения так называемых операционных величин (см. разд. 6.4.).

Поглощенную дозу и эквивалент дозы нельзя определить в поле излучения, не внеся в него предварительно объект определенного размера и формы и не указав, в какой точке объекта определяются эти величины. В случае полевой поглощенной дозы (см. ранее) объектом, вносимым в поле излучения, являлся шар из некоторого вещества с радиусом 1 г/см$^2$. Аналогично был определен полевой эквивалент дозы [11].

***Полевой эквивалент дозы*** — эквивалент дозы в центре шара радиусом 1 г/см$^2$ из тканеэквивалентного[1] вещества, совмещенном с точкой поля ионизирующего излучения, в которой он определяется.

В [15] введены две новые величины — амбиентный эквивалент дозы и индивидуальный эквивалент дозы. Для определения первой величины в поле излучения вносится шар из тканеэквивалентного вещества, а второй, параллелепипед размером 300×300×150 мм из того же вещества [32]. Это позволяет по возможности учесть влияние излучения, рассеянного в теле человека.

***Амбиентный эквивалент дозы (амбиентная доза)*** ($H^*(d)$) — эквивалент дозы, который был бы создан в шаре диаметром 30 см из тканеэквивалентного вещества плотностью 1 г/см$^3$ (шаровой фантом человека, предложенный МКРЕ) на глубине $d$ (мм) от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излу-

---

[1] Когда говорят о тканеэквивалентном веществе или тканевой дозе, имеют в виду поглощенную дозу в мягкой биологической ткани (мышцах) условного человека, весовой состав которого принимается следующим (%): водород — 10,1; углерод — 11,1; азот — 2,6; кислород — 76,2.

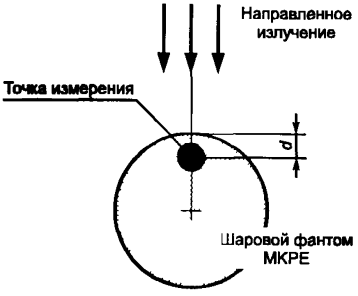



**Рис. 3.1. Схема определения $H^*(d)$**

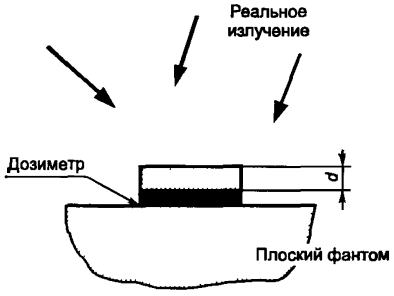



**Рис. 3.2. Схема определения $H_p(d)$**

чения, идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленном и однородном.

***Индивидуальный эквивалент дозы*** ($H_p(d)$) — эквивалент дозы в мышечной биологической ткани, определяемый на глубине $d$ (мм) под рассматриваемой точкой на теле человека.

Схемы определения величин амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы показаны на рис. 3.1 и 3.2.

## 3.2. Механизм воздействия ионизирующего излучения на организм человека

Ионизация и возбуждение играют существенную роль в развитии радиационно-индуцированных эффектов, особенно в биологических системах.

В простых веществах, молекулы которых состоят из атомов одного и того же элемента (газы, металлы и т. д.), процессу ионизации сопутствует процесс рекомбинации. Ионизированный атом присоединяет к себе один из свободных электронов, которые всегда имеются в среде, в результате вновь образуется нейтральный атом. Возбужденный атом возвращается в нормальное состояние в процессе перехода электрона на освободившееся место на ближайшей к ядру оболочке с внешних оболочек атома. При этом происходит испускание одного или нескольких фотонов характеристического излучения. Таким образом, ионизация и возбуждение атомов простых веществ не приводит к каким-либо изменениям физико-химической природы облучаемой среды. Иначе обстоит дело при воздействии ионизирующего излучения на сложные органические вещества, молекулы которых состоят из большого числа различных атомов.

Следствием акта ионизации является скачкообразное изменение электромагнитного поля молекулы, что приводит к разрыву 10—15 химических связей. Следовательно, при ионизации и возбуждении сложных молекул происходит их дезинтеграция в результате разрыва химических связей. Это так называемое прямое действие ионизирующего излучения.

Существенную роль в формировании радиационно-индуцированных эффектов в биологической ткани играет механизм косвенного действия ионизирующего излучения. Под косвенным действием ионизирующего излучения понимают радиационно-химические изменения, обусловленные продуктами радиолиза воды, образующими так называемые свободные радикалы, $H$ и $OH$, по следующей схеме

$$H_2O^+ = H^+ + OH,$$

$$H_2O^- = H^\bullet + OH^-.$$

В присутствии кислорода образуется также свободный радикал гидроперекиси $HO_2$ и перекись водорода, являющиеся сильными окислителями.

Образовавшиеся в процессе радиолиза воды свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, приводят к образованию новых веществ, могут ускорять или замедлять те или иные химические процессы.

Применительно к биологической ткани, в которой 60—70 % по массе составляет вода, свободные радикалы вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов и других структурных элементов биологической ткани, что приводит к изменению биологических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, подавляется активность ферментных систем, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму — токсины. Это приводит к нарушению жизнедеятельности отдельных функций или системы организма в целом.

Индуцированные свободными радикалами химические реакции развиваются с большим выходом и вовлекают в этот процесс многие сотни и тысячи молекул, не затронутых излучением. В этом состоит специфика действия ионизирующего излучения на сложные органические соединения, в том числе и белковые молекулы. В результате эффект, обусловленный воздействием ионизирующего излучения, зависит не столько от количества поглощенной энергии в облучаемом объекте, сколько от той формы, в которой эта энергия передается. Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической и др.),

поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывает ионизирующее излучение.

Сопоставление наблюдаемых радиационных эффектов в живом организме с величиной тепловыделения дает удивительно высокую эффективность утилизации энергии ионизирующего излучения. Так, при дозе излучения, вызывающей гибель живого организма, эквивалентная величина тепловой энергии едва ли больше энергии, заключенной в стакане горячего чая.

Для человека крайне тяжелая степень лучевой болезни при общем остром облучении гамма-излучением соответствует средней поглощенной дозе 6 грей или 420 Дж на все тело (70 кг). Если эту энергию подвести в виде тепла, то она повысит температуру тела едва ли на 0,01 градуса.

Новые соединения, возникшие в живых клетках под действием свободных радикалов, вызывают нарушения кинетики клеточного деления, взаимодействие клеток, изменение их генетического аппарата или гибель. Если в генетическом аппарате половых клеток происходят стойкие изменения, то в результате могут возникнуть генетические изменения (мутации) у потомства облученной особи.

Изменение в клеточной структуре ведет к нарушению обменных процессов в организме либо к ранним физиологическим эффектам. Это приводит к нарушению функций тканей и органов, в результате чего происходит поражение всего организма.

Изменения, происходящие в организме под воздействием радиации, могут проявиться в виде клинических эффектов через сравнительно короткий промежуток времени (часы, дни). Это так называемые детерминированные эффекты. Наряду с этим, реакция организма на облучение может проявиться через длительный промежуток времени (годы, десятилетия). Это — отдаленные последствия. Кроме того, в организме под воздействием радиации может произойти нарушение структурных элементов, ответственных за наследственность. В этом случае эффекты могут проявиться в виде врожденных пороков у следующих поколений. Поэтому при оценке опасности облучения, которой могут подвергаться отдельные контингенты людей и популяции в целом, радиационные эффекты принято дифференцировать на соматические и генетические. К соматическим эффектам относятся те изменения в состоянии здоровья, которые произошли у данного индивидуума в результате облучения. Соматические эффекты проявляются в виде детерминированных (лучевая болезнь различной тяжести, локальные лучевые повреждения отдельных органов и тканей, стойкие функциональные нарушения), а также в виде отдаленных последствий [46, 47, 51].

Для детерминированных эффектов характерно наличие связи между уровнем облучения и реакцией организма. Причем они имеют порог, т. е. проявляются после превышения некоторой определенной дозы облучения.

Накопленный к настоящему времени большой материал, полученный на основе экспериментов над животными, а также на основе обобщения многолетних данных о состоянии здоровья рентгенологов, радиологов и других лиц, которые подвергались воздействию радиации, показывают, что при однократном равномерном облучении всего тела в дозе до 0,5 Зв детерминированные эффекты не проявляются, т. е. нельзя обнаружить какие-либо изменения в состоянии здоровья человека современными методами. Не наблюдается также изменение крови, которая прежде всего реагирует на лучевое воздействие.

Различные формы лучевой болезни развиваются при дозах выше 1 Зв. Крайне тяжелая форма лучевой болезни, приводящая к смертельному исходу в 100 % случаев, наблюдается при дозе, превышающей 6 Зв. Причиной смерти чаще всего являются инфицированные заболевания и кровоизлияния.

Рассмотренная выше картина лучевой болезни различной степени тяжести в зависимости от дозы относится к случаю однократного облучения всего тела. Если же облучение в этой дозе произвести не однократно, а растянуть по времени, то эффект облучения будет снижен. Это связано с тем, что живые организмы, в том числе и человек, способны восстанавливать нормальную жизнедеятельность после тех или иных ее нарушений.

В случае систематически повторяющегося облучения в дозах, не вызывающих острой лучевой болезни, но значительно больше предельно допустимых, может развиваться хроническая лучевая болезнь. Наиболее характерными признаками хронической лучевой болезни являются изменения в составе крови (уменьшение числа лейкоцитов, малокровие) и ряд симптомов со стороны нервной системы.

Признаки хронической лучевой болезни не специфичны и встречаются иногда при болезнях, развивающихся вследствие других причин. Поэтому диагностировать хроническую лучевую болезнь можно лишь в том случае, если достоверно известно, что в течение длительного времени человек подвергался лучевому воздействию.

Согласно установленным радиобиологическим данным реакция организма на облучение может проявиться и в отдаленные сроки (через 10—20 лет). Такими реакциями могут являться лейкозы, злокачественные опухоли различных органов и тканей, катаракты, поражения кожи, сокращение продолжительности жизни (старение,

ведущее к преждевременной смерти, не связанное с какой-либо определенной причиной). Следует отметить, что такие отдаленные последствия облучения, как катаракта, бесплодие, сокращение продолжительности жизни имеют пороговый характер. Вероятность возникновения этих эффектов резко возрастает при превышении некоторой пороговой дозы и пренебрежимо мала или практически не обнаруживается при меньших дозах. Лучевая катаракта возникает только в том случае, когда эквивалентная доза гамма-излучения, накопленная в хрусталике глаза при хроническом облучении, превысит 15 Зв или 5 Зв при облучении нейтронами. Бесплодие, обусловленное облучением, проявляется только в том случае, если суммарная доза на яичники превысит 3,0 Зв. Сокращение продолжительности жизни не обнаруживается при дозе менее 2,0 Зв. Что касается таких отдаленных последствий, как злокачественные новообразования различных органов и тканей, которые обуславливают основной соматический риск облучения в малых дозах, то их появление у облученного контингента порой невозможно связать с предшествующим облучением.

Совершенно очевидно, что для конкретного человека, облученного в дозе, которая не вызвала детерминированного эффекта, практически невозможно установить причинную связь между облучением и появлением, например, лейкемии, поскольку это заболевание может быть обусловлено другими вредными факторами нерадиационного характера. Даже если в результате облучения у данного индивидуума наблюдались некоторые изменения в состоянии здоровья, которые были восстановлены в процессе лечения, то также трудно однозначно констатировать, что возникшие у него в отдаленные сроки злокачественные новообразования являются результатом лучевого воздействия, а не других факторов.

Оценивать масштабы таких отдаленных последствий можно, рассматривая только вероятность появления соматических эффектов у большого контингента людей. Эффекты реакции организма, которые оцениваются статистическими методами, называются соматико-стохастическими.

Таким образом, отдаленные последствия воздействия радиации могут оцениваться лишь по вероятности выхода злокачественных новообразований, т. е. по риску заболеваний при данном уровне лучевого воздействия.

Полученные экспериментальные данные на животных, а также более чем 30-летние наблюдения за людьми, перенесшими атомную бомбардировку в Хиросиме и Нагасаки или прошедшими курс лучевой терапии, показывают, что отдаленные последствия обусловлены

облучением в сравнительно больших дозах. Например, у пострадавших в Хиросиме и Нагасаки достоверно обнаруживается более высокая частота возникновения рака, чем у необлученного контингента, лишь при дозе более 0,7 Зв, а частота выявления лейкемии в зрелом возрасте составляет 0,2—0,5 % при дозе 1,0 Зв.

Таким образом, имеющиеся в настоящее время радиобиологические данные, позволяют достоверно оценить выход неблагоприятных отдаленных последствий при сравнительно больших дозах облучения (примерно 0,7 Зв и более).

В настоящее время достоверно не обнаружено повышенного выхода отдаленных последствий у людей, в течение длительного времени облучающихся в дозах, превышающих в 10—100 раз естественный радиационных фон, т. е. 0,01—0,1 Зв в год. Однако это еще не означает однозначно, что при этих уровнях облучения отдаленные последствия отсутствуют.

При воздействии излучения на биообъекты, наряду с проявлением негативного воздействия на организм (соматические эффекты), может произойти повреждение наследственных структур. В результате неблагоприятные последствия облучения проявятся в последующих поколениях. Это так называемые генетические эффекты.

Под воздействием ионизирующего излучения могут возникнуть стойкие нарушения в половых клетках, приводящие к мутациям, т. е. к появлению у облученных особей потомства с другими признаками. Генетические эффекты, также как и радиационно-соматические отдаленные последствия, относятся к категории стохастических процессов.

*Наблюдения за последствиями облучения человека дают очень мало* информации для оценки генетической опасности, обусловленной облучением. Накопленные к настоящему времени радиобиологические данные дают основание полагать, что удвоение естественного числа генетических нарушений у новорожденных может наблюдаться при дозе на популяцию 1 Зв. Вообще, вероятность выхода генетических отдаленных последствий на единицу дозы примерно в 3 раза меньше, чем соматических [44].

Следует отметить, что, в основном, оценка выхода стохастических эффектов основана на концепции их беспорогового появления, т. е. количество эффектов пропорционально значениям дозы вплоть до самых малых значений, а тяжесть эффекта не зависит от значения дозы. Хотя эта концепция принята организациями, компетентными в нормировании в области радиационной безопасности, она не является бесспорной и имеются экспериментальные данные, которые ставят ее под сомнение [44].

## 3.3. Источники ионизирующей радиации

Где бы человек не находился — на предприятии или в доме, в самолете или поезде, в горах или океане — он всегда подвержен воздействию радиации.

Все живые существа, населяющие нашу планету, в том числе и человек, развивались и развиваются в условиях постоянного контакта с радиоактивными веществами, которые содержатся во всех объектах окружающей среды и населяющих существ, в том числе, и в теле человека. Таким образом, радиация является неотъемлемым фактором обитания на планете Земля.

Все источники радиации можно разделить на три группы:

природные, которые существуют с момента образования планеты. К ним относятся космическое излучение и естественно-радиоактивные нуклиды (ЕРН), содержащиеся в земной коре и объектах окружающей среды;

техногенные. Это источники, образуемые за счет локального изменения распределения естественных источников радиации, что приводит к изменению уровня радиационного воздействия в отдельных регионах или при определенных условиях жизнедеятельности;

антропогенные. Это источники радиации, созданные человеком: рентгеновские аппараты, ускорители, ядерные реакторы, термоядерные установки, искусственно-радиоактивные радионуклиды.

### 3.3.1. Природный радиационный фон

Природный (естественный) радиационный фон формируется ионизирующими излучениями, приходящими на Землю из Космоса, и излучениями, возникающими в процессе радиоактивного распада радионуклидов, содержащихся в земной коре (ЕРН).

Эффективная доза, создаваемая космическим излучением на уровне моря, составляет 0,32 мЗв в год. С удалением от поверхности земли интенсивность космического излучения возрастает. В результате для людей, проживающих в горной местности, дозовая нагрузка в несколько раз больше. На высоте полетов современных самолетов уровень космического излучения в несколько десятков раз больше.

Есть основания полагать, что на заре формирования нашей планеты в земной коре имелись радионуклиды практически всех химических элементов. Но до наших дней сохранились в заметных количествах те радионуклиды, которые обладают большими периодами полураспада $T_{1/2}$; в первую очередь, к ним относятся калий-40 ($T_{1/2}$ = 1,3 млрд. лет), уран-238 ($T_{1/2}$ = 4,5 млрд. лет), уран-235 ($T_{1/2}$ = = 0,7 млрд. лет) и торий-232 ($T_{1/2}$ = 14 млрд. лет). Известно, что

уран-238 и 235 и торий-232 образуют так называемые радиоактивные семейства, т. е. цепочку радионуклидов, где каждый последующий есть продукт распада предыдущего. Конечным продуктом распада у этих семейств являются стабильные изотопы свинца. Таким образом, наряду с ураном и торием в природе существуют радиоактивные изотопы химических элементов с порядковыми номерами от $Z = 92$ (уран) и $Z = 90$ (торий) до $Z = 82$ (свинец), периоды полураспада этих изотопов варьируют в очень широких пределах: от миллионной доли секунды до тысяч лет.

Следует обратить внимание, что один из продуктов распада представляет собой газ, который называется эманацией. В семействе урана-238 — это радон, в семействе тория-230 — торон, а в семействе урана-235 — актинон. Торон и актинон являются изотопами инертного газа радона.

Именно вследствие наличия газообразных радионуклидов в радиоактивных семействах, эти радионуклиды и их продукты распада в заметных количествах содержатся в воздухе, водоемах, почве.

Внешнее облучение людей, обусловленное излучением естественных радионуклидов, определяется их содержанием в почве. Основной вклад в дозу вносят калий-40, а также радий и его радиоактивные продукты распада. Вместе с тем, содержание в почве этих радионуклидов может меняться в широких пределах. Как правило, в двухкомпонентных смесях песка и глины содержание этих радионуклидов возрастает с увеличением в пробе глинистой фракции, достигая максимальных значений для чистой глины. Не менее существенным для формирования мощности дозы вне зданий в городских условиях является радиоактивность природного облицовочного камня.

Для 95 % населения земного шара годовая эффективная доза внешнего облучения, обусловленная гамма-излучением естественных радионуклидов, составляет в среднем 0,35 мЗв. Мощность эффективной дозы от природных источников на территории России, измеренная на открытой местности, находится в пределах 0,05—0,2 мкЗв/ч. Это обстоятельство надо принимать во внимание при изменениях мощности дозы от возможных техногенных и антропогенных источников.

Естественные радионуклиды, содержащиеся в земной коре и объектах окружающей природной среды, поступают в организм человека с пищей, водой и из воздуха в процессе дыхания.

Основными естественными радионуклидами, формирующими дозу внутреннего облучения, являются калий-40, а также радий и его продукты распада. В организм человека калий-40 поступает преимущественно с пищей и его вклад в дозу внутреннего облучения пре-

вышает 50 %. Концентрация калия-40 в большинстве пищевых продуктов варьирует в довольно широких пределах от 20 до 220 Бк/кг, достигая 670 Бк/кг в бобах, какао, соевой муке. Это обстоятельство следует иметь в виду при контроле пищевых продуктов на радиоактивность. В теле человека активность калия-40 составляет примерно 4200 Бк.

Годовая эффективная доза внутреннего облучения, обусловленная калием-40, составляет 0,18 мЗв. За счет полония-210 — 0,13 мЗв, а радия и продуктов его распада — 0,02 мЗв в год. Полоний и радий также поступают в организм в основном, с пищей и в результате курения. Таким образом, эквивалентная доза внутреннего облучения, формируемая естественными радионуклидами, составляет 0,33 мЗв в год. Следовательно, эффективная доза внешнего и внутреннего облучения людей, обусловленная собственно естественными источниками радиации, составляет 1 мЗв в год для регионов с нормальным радиационным фоном, где проживает примерно 95 % населения Земли.

### 3.3.2. Техногенный радиационный фон

В процессе использования человеком той или иной технологии возможно локальное изменение распределения естественных источников радиации, что может повысить уровень облучения. Такое повышенное облучение наблюдается при полетах на самолете, при выбросе естественных радионуклидов при сжигании каменного угля и природного газа, при использовании фосфорных удобрений в сельском хозяйстве и продуктов переработки фосфоритов в промышленности и т. д. Наблюдаемые в этих случаях повышенные уровни излучения называются техногенным повышенным естественным радиационным фоном (ТРЕПФ).

При сжигании угля, нефти и газа содержащиеся в этих продуктах естественные радионуклиды, рассеиваясь в атмосфере вместе с золой, становятся источником дополнительного облучения населения, проживающего в районе расположения тепловых электростанций, теплоцентралей и котельных, в первую очередь, за счет ингаляционного поступления при прохождении шлейфа выброса. Наряду с этим, выпадающие на поверхность земли естественные радионуклиды, поступают в организм человека с пищевыми продуктами, вдыхаемым воздухом и питьевой водой.

Дополнительное облучение при использовании продуктов переработки фосфоритов обусловлено тем, что залежи фосфоритов содержат продукты распада урана-238 в сравнительно высоких концентрациях. При этом следует учесть, что добыча фосфорной руды в мире очень высока и из года в год возрастает. В процессе переработки

фосфорной руды основные и побочные продукты и отходы также содержат радионуклиды повышенной концентрации. Использование фосфорных удобрений в сельском хозяйстве, приводящее к усвоению естественных радионуклидов растениями из почвы, и использование отходов фосфатного производства в качестве строительных материалов (фосфогипса) также являются возможными дополнительными техногенными источниками облучения.

Дополнительное облучение от рассмотренных техногенных источников в глобальных масштабах пока еще невелико и составляет около 2 % от годовой эффективной дозы, обусловленной естественным радиационным фоном. Однако при некоторых видах человеческой деятельности для отдельного контингента этот вклад может стать существенным, по сравнению с естественным фоном. В частности, это касается увеличения применения фосфатных удобрений, использования фосфогипса в жилищном строительстве, отвалов урановой руды в дорожном строительстве, роста использования каменного угля *и т. д. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо оценивать* обусловленные этими факторами уровни облучения как в глобальном масштабе, так и применительно к отдельным регионам, что позволит более разумно, с точки зрения обеспечения радиационной безопасности, планировать развитие той или иной технологии, приводящей к повышению радиационного фона от естественных источников.

### 3.3.3. Проблема радона

Дополнительное облучение, вследствие пребывания человека в помещении, также следует рассматривать в качестве одного из факторов ТРЕПФ. В этой связи необходимо рассмотреть проблему радона, к которой последнее время привлечено повышенное внимание общественности. Связано это с тем, что основным источником поступления радона в помещение является почва. Здание работает как насос или печная труба. В результате скорость поступления грунтового воздуха в помещение, а следовательно, и радона возрастает в десятки раз. Если к тому же в здании отсутствует принудительная вентиляция, то создаются концентрации радона, приводящие к дополнительному облучению, опасному для здоровья.

Накоплению радона в помещениях способствует их герметизация с целью утепления. Следует отметить, что еще одним из источников поступления радона в помещения является вода и природный газ. Концентрация радона в воде, как правило, чрезвычайно мала, исключая некоторые глубокие артезианские скважины. И возможное дополнительное облучение исходит не от питья, а от попадания паров воды в легкие вместе с вдыхаемым воздухом в ванной комнате,

где в среднем концентрация радона во время принятия душа примерно в 40 раз выше, чем в жилых комнатах; в кухне (газовая плита) — в 15 раз выше, чем в жилой комнате.

Одним из наиболее эффективных методов борьбы с радоновой опасностью является герметизация первых этажей зданий (т. е. изоляция первых этажей от подпола), создание более эффективной вентиляции.

Концентрация радона вне помещений варьирует в довольно широких пределах от 0,1 до 10 Бк/м$^3$. Высокие концентрации наблюдаются в районах геологических разломов.

Вне помещений дозовая нагрузка, обусловленная радоном и его продуктами распада, составляет всего 0,15 мЗв в год.

В зонах с умеренным климатом концентрация радона в помещениях в среднем примерно в 8 раз выше, чем в наружном воздухе. В тропических странах концентрация радона в помещениях такая же, что и вне их.

Анализ данных о содержании радона в помещениях позволяет оценить средневзвешенную по земному шару эффективную дозу, обусловленную накоплением радона в помещениях, она составляет 1,6 мЗв в год.

Радон в помещении содержится вместе со своими продуктами распада. Это радионуклиды химических элементов с порядковыми номерами от 82 до 85. Среди них имеются полоний, свинец, висмут и т. д. Что касается самого радона, то это инертный газ. Попадая в организм, он не взаимодействует с жидкостями организма и выдыхается практически в тех же количествах. Поэтому сам радон не играет практически никакой роли в формировании дозы внутреннего облучения. Что касается атомов продуктов распада радона, то они сорбируются на молекулах воды или твердых аэрозолях, всегда присутствующих в воздухе, и попадают в организм человека через органы дыхания. Радиационному воздействию подвергаются в основном легкие. Поэтому, говоря о радоновой опасности, следует иметь в виду, что дозообразующим фактором являются продукты его распада.

Таким образом, радон является ведущим естественным техногенным радиационным фактором, формирующим средневзвешенную годовую эффективную дозу, в полтора раза более высокую, чем обусловленную естественным фоном.

Широкомасштабные исследования, проведенные в начале 90-х годов в Западной Европе, показали, что за счет радона формируется от 50 % коллективной дозы для благополучных регионов до 92 % для регионов с повышенной радоноопасностью. Поэтому МКРЗ уделяет большое внимание этой проблеме [30]. Например, в Вели-

кобритании примерно у около 17 % населения эффективная доза за время пребывания в здании достигает 6 мЗв в год.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 6 июля 1994 г. была принята Федеральная целевая программа по снижению уровня облучения населения и производственного персонала от природных радиоактивных источников (ФЦП «Радон»), в которой особое внимание уделяется проблеме контроля радона. В рамках этой программы были разработаны «Методические рекомендации по аппаратурному оснащению региональных целевых программ «Радон» [46]. В этих методических указаниях определены основные задачи радиационного мониторинга на отдельных этапах реализации региональных программ «Радон»:

выявление жилищ и объектов производственного назначения, где превышаются или могут быть превышены контрольные уровни радиационно опасных факторов (РОФ), а также установленные пределы эффективных доз облучения населения и производственного персонала;

проведение детального радиационного обследования на выявленных объектах с повышенным природным фоном, расчет фактических доз облучения населения и производственного персонала, осуществление требуемых защитных и профилактических мероприятий;

радиологическое сопровождение строительства зданий и сооружений с целью заблаговременного принятия мер (оценка потенциальной радоноопасности территорий застройки, измерение содержания радионуклидов в грунтах и строительных материалах, радиационный контроль при сдаче зданий и других объектов в эксплуатацию и др.);

формирование групп риска, обследование состояния здоровья и осуществление профилактических мероприятий для лиц, вошедших в группы риска;

паспортизация по содержанию естественных радионуклидов источников питьевого водоснабжения, продукции и отходов производственных предприятий и их сбросов и выбросов в окружающую среду;

формирование региональных баз данных по радиоактивности объектов окружающей среды, дозам облучения населения и производственного персонала в регионе, состоянию здоровья населения, подвергающегося повышенному облучению.

При оценке экологической обстановки и разработке мероприятий по ее улучшению в том или ином регионе следует исходить из концепции оптимизации на основе рассмотрения всех негативных факторов, воздействующих на человека и окружающую среду.

Имеющаяся в настоящее время совокупность радиобиологических данных не позволяет тем не менее установить влияние повышенного естественного и техногенного радиационного фона на увеличение выхода отдаленных последствий.

### 3.3.4. Антропогенные источники радиации

Наряду с естественными источниками человек подвергается дополнительному облучению за счет источников, созданных самим человеком. По мере расширения масштабов использования атомной энергии число таких источников и их мощность растет. Однако их вклад в лучевые нагрузки населения очень невелик, благодаря принимаемым мерам защиты. Что касается такого глобального антропогенного источника радиации, как радионуклиды (в основном цезий-137 и стронций-90), выпадающие на поверхность Земли из стратосферы, где они накопились в результате испытаний атомного оружия, то их вклад в настоящее время составляет 1—2 % от естественного фона (0,01—0,02 мЗв в год). В период интенсивных испытаний атомного оружия в воздухе эффективная доза, обусловленная глобальными выпадениями, достигала 0,6—0,7 мЗв в год. Снижению этого фактора способствовало запрещение в 1963 г. испытаний атомного оружия в трех сферах (атмосфере, под водой и в космосе).

После Чернобыльской катастрофы особое опасение проявляется к такому антропогенному источнику, как атомные электростанции. Действительно, вышедший из под контроля мирный атом крайне опасен. Вместе с тем, опыт эксплуатации АЭС показывает, что при нормальной работе атомных реакторов, радиоактивные выбросы настолько малы, что даже вблизи АЭС практически невозможно обнаружить повышенные, по сравнению с естественным фоном, уровни радиации.

Наибольший вклад в дозу облучения от антропогенных источников дают рентгенодиагностические медицинские процедуры. Это обусловлено ростом числа медицинских процедур с использованием ионизирующих излучений с целью ранней диагностики ряда заболеваний и повышением эффективности борьбы с таким страшным недугом, как рак. Из года в год растет контингент обследуемых и число рентгенодиагностических процедур, приходящихся на одного человека. В различных странах число рентгенодиагностических обследований на 1000 человек колеблется от 300 до 900. В России в среднем на одного человека приходится 1 рентгенодиагностическая процедура в год.

Однако из этого не вытекает, что следует опасаться этих процедур. Важно подчеркнуть, что несвоевременное диагностирование заболевания на 2—3 порядка повышает риск смерти по сравнению с риском, связанным с дополнительным облучением в результате рентге-

нодиагностических процедур. Вместе с тем, совершенствование технических средств лучевой диагностики и методов исследования, повышение чувствительности рентгеновских пленок и усиливающих экранов, использование электронно-оптических преобразователей и более высокая квалификация специалистов обуславливают наблюдающуюся тенденцию снижения дозы облучения пациента при конкретном обследовании.

В табл. 3.1. приведены данные о вкладе различных источников в дозу облучения населения [48].

Таблица 3.1

**Вклад различных источников в среднюю индивидуальную дозу облучения населения России**

| Источник | Эффективная доза, мЗв, в год (среднее значение) |
|---|---|
| Космическое излучение | 0,32 |
| Гамма-излучение ЕРН | 0,35 |
| Внутренее облучение | 0,33 |
| Радон в помещениях | 1,6 |
| Угольная энергетика | 0,09 |
| **Всего за счет природных источников** | **2,69** |
| Рентгенодиагностика | 1,4 |
| Атомная энергетика с учетом аварии на ЧАЭС | 0,008 |
| Профессиональное облучение | 0,006 |
| Испытания ядерного оружия | 0,02 |
| **Всего за счет антропогенных источников** | **1,43** |
| **В целом** | **4,12** |

Как видно из таблицы, в настоящее время среднее значение эффективной дозы, получаемой населением и обусловленной естественными, техногенными и антропогенными радиационными источниками, составляет 4,12 мЗв в год. При этом 63 % дозы приходится на естественные источники (космическое излучение и излучение естественных радионуклидов, содержащихся в земной коре и объектах окружающей среды, формируют 24 %, ингаляция радона и его продуктов распада, накапливаемых в помещениях, 39 % дозы). На рентгенодиагностические процедуры приходится 34 % дозы. Что же касается всех остальных антропогенных источников (атомная энергетика, испытания ядерного оружия, использование источников ионизирующих излучений), то на них приходятся примерно 1 % от суммарного лучевого воздействия.

Следовательно, развитие атомной энергетики и расширение использования радионуклидов в различных сферах человеческой деятельности практически не приведут к дополнительным лучевым нагрузкам в глобальном масштабе. В регионах дислокации АЭС или атомных производств они, естественно, будут несколько выше, чем средневзвешенные, но будут находиться на крайне низком уровне по сравнению с лучевым воздействием, обусловленным естественными источниками. И тем не менее, при широкомасштабном использовании ядерных технологий значительный контингент людей может подвергаться воздействию радиации. Это не только персонал, непосредственно обслуживающий атомные установки, но и отдельные группы людей, проживающие в зоне потенциального влияния радиоактивных выбросов и сбросов предприятия. В этих условиях важно оценить уровень риска, обусловленного всеми радиационными источниками, и вклад каждого из них Для такой оценки полезной величиной является ***коллективная эффективная доза***, представляющая собой сумму индивидуальных эффективных доз у данного контингента за данный промежуток времени. Единицей измерения коллективной эффективной дозы в СИ является **чел.-Зв.** Оценки радиационного риска с использованием коллективной дозы обычно дают возможность выбора наиболее оптимального решения при размещении объектов атомной промышленности.

## 3.4. Нормирование характеристик ионизирующего излучения

### 3.4.1. Принципы нормирования

Защита населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения осуществляется путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности. При этом главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине.

Государственное нормирование в области обеспечения радиационной безопасности осуществляется путем установления санитарных правил, норм, гигиенических нормативов, правил радиационной безопасности, национальных стандартов, строительных норм и правил, правил охраны труда, распорядительных, инструктивных, методических и иных документов по радиационной безопасности, не

противоречащих положениям Федерального закона «О радиационной безопасности населения».

Санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы в области обеспечения радиационной безопасности утверждаются в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, федеральным органом исполнительной власти по санитарно-эпидемиологическому надзору.

Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 02.08.99 г. утверждены и введены в действие Нормы радиационной безопасности — НРБ-99 [35].

Нормы радиационной безопасности НРБ-99 (далее — Нормы) применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения.

Требования и нормативы, установленные Нормами, являются обязательными для всех юридических лиц, независимо от их подчиненности и формы собственности, в результате деятельности которых возможно облучение людей, а также для администраций субъектов Российской Федерации, иностранных граждан и лиц без гражданства, проживающих на территории Российской Федерации. Никакие другие нормативные и методические документы не должны противоречить требованиям Норм.

Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;

в результате радиационной аварии;

от природных источников излучения;

при медицинском облучении.

Суммарная доза от всех видов облучения используется для оценки радиационной обстановки и ожидаемых медицинских последствий, а также для обоснования защитных мероприятий и оценки их эффективности.

Требования Норм не распространяются на источники излучения, которые создают при любых условиях обращения с ними:

индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв;

индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв и в хрусталике глаза не более 15 мЗв.

Требования Норм не распространяются также на космическое излучение на поверхности Земли и внутреннее облучение человека, создаваемое природным калием, на которые практически невозможно влиять.

Перечень и порядок освобождения источников ионизирующего излучения от радиационного контроля устанавливаются санитарными правилами ОСПОРБ-99.

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения Нормы соответствуют следующим основным принципам:

*принцип нормирования* — непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;

*принцип обоснования* — запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением;

*принцип оптимизации* — поддержание на возможно низком уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых при использовании любого источника излучения.

Ответственность за соблюдение Норм устанавливается в соответствии со статьей 55 Закона Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Основу системы радиационной безопасности, сформулированную в Нормах, составляют современные международные рекомендации [29], учитывающие опыт стран, достигших высокого уровня радиационной защиты населения, и отечественный опыт.

### 3.4.2. Требования к ограничению техногенного облучения в нормальных условиях эксплуатации источников излучения

При нормировании допустимого облучения рассматриваются 3 категории облучаемых лиц:

персонал (группы А и Б);

все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

основные пределы доз (ПД), приведенные в табл. 3.2;

допустимые уровни многофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОА), среднегодовые удельные активности и другие;

контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организа-

Таблица 3.2

**Основные пределы доз**

| Нормируемые величины* | Пределы доз | |
|---|---|---|
| | Персонал (группа А)** | Население |
| Эффективная доза | 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год | 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год |
| Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза***<br>коже****<br>кистях и стопах | 150 мЗв<br>500 мЗв<br>500 мЗв | 15 мЗв<br>50 мЗв<br>50 мЗв |

* Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

** Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А. Далее в тексте все значения для категории персонал приводятся только для группы А.

*** Относится к дозе на глубине 300 мг/см$^2$.

**** Относится к среднему по площади 1 см$^2$ значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см$^2$ под покровным слоем толщиной 5 мг/см$^2$. На ладонях толщина покровного слоя — 40 мг/см$^2$. Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 г/см$^2$ площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает непревышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.

ции уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать пределов доз, указанных в табл. 3.2.

### 3.4.3. Требования к ограничению облучения населения

Радиационная безопасность населения достигается путем ограничения воздействия основных видов облучения. Проблема регулирования различных видов облучения очень важна, она решается путем их регламентации с применением разных методологических подходов и технических способов.

В отношении всех источников облучения населения следует принимать меры как по снижению дозы облучения у отдельных лиц, так и по уменьшению числа лиц, подвергающихся облучению (в соответствии с принципом оптимизации).

#### *3.4.3.1. Ограничение техногенного облучения в нормальных условиях*

Годовая доза облучения населения не должна превышать основных пределов доз (табл. 3.2). Указанные пределы доз относятся к средней дозе критической группы населения, рассматриваемой как сумма доз внешнего облучения за текущий год и ожидаемой дозы до 70 лет вследствие поступления радионуклидов в организм за текущий год.

Для ограничения облучения населения отдельными техногенными источниками излучений федеральным органом Госсанэпиднадзора для них устанавливаются квоты (доли) предела годовой дозы, но так, чтобы сумма квот не превышала пределов доз, указанных в табл. 3.2.

Облучение населения техногенными источниками излучения ограничивается путем обеспечения сохранности источников излучения, контроля технологических процессов и ограничения выброса (сброса) радионуклидов в окружающую среду, а также другими мероприятиями на стадии проектирования, эксплуатации и прекращения использования источников излучения.

На основании значений пределов годового поступления (ПГП) радионуклидов через органы пищеварения, соответствующих пределу дозы 1 мЗв за год и квот от этого предела, может быть рассчитана для конкретных условий допустимая удельная активность основных пищевых продуктов с учетом их распределения по компонентам рациона и в питьевой воде, а также с учетом поступления радионуклида через органы дыхания и внешнего облучения. Значения ПГП радионуклидов для населения через органы дыхания и пищеварения, а также соответствующие им значения допустимых среднегодовых объемных активностей (ДОА) и уровней вмешательства (УВ) приведены в приложении 3.1.

### *3.4.3.2. Ограничение природного облучения*

Допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не устанавливается. Снижение облучения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения.

При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних изотопов радона и торона в воздухе помещений $ЭРОА_{Rn} + 4{,}6 \cdot ЭРОА_{Tn}$ не превышала 100 Бк/м$^3$, а мощность эффективной дозы гамма-излучения не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч.

В эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная активность дочерних изотопов радона и торона в воздухе жилых помещений не должна превышать 200 Бк/м$^3$. При более высоких значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений. Защитные мероприятия должны проводиться также, если мощность эффективной дозы гамма-излучения в помещениях превышает мощность дозы на открытой местности более чем на 0,3 мкЗв/ч. Вопрос о переселении жильцов рассматривается, если практически невозможно снизить мощность этой дозы до значений 0,6 мкЗв/ч.

Для обеспечения выполнения этих требований устанавливаются требования к строительным материалам и участкам застройки [49].

Эффективная удельная активность ($A_{эфф}$) природных радионуклидов в строительных материалах (щебень, гравий, песок, бутовый и пиленный камень, цементное и кирпичное сырье и пр.), добываемых на их месторождениях или являющихся побочным продуктом промышленности, а также отходов промышленного производства, используемых для изготовления строительных материалов (золы, шлаки и пр.), не должна превышать:

для материалов, используемых в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях ( I класс):

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1{,}3 \cdot A_{Th} + 0{,}09\, A_K \le 370 \text{ Бк/кг},$$

где $A_{Ra}$ и $A_{Th}$ — удельные активности $^{226}$Ra и $^{232}$Th, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов,

$A_K$ — удельная активность $^{40}$K (Бк/кг);

для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (II класс):

$$A_{эфф} \leq 740 \text{ Бк/кг};$$

для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (III класс):

$$A_{эфф} \leq 1{,}5 \text{ кБк/кг}.$$

При 1,5 кБк/кг $< A_{эфф} \leq$ 4,0 кБк/кг (IV класс) вопрос об использовании материалов решается в каждом случае отдельно по согласованию с федеральным органом Госсанэпиднадзора. При $A_{эфф} >$ 4,0 кБк/кг материалы не должны использоваться в строительстве.

При содержании природных и искусственных радионуклидов в питьевой воде, создающих эффективную дозу меньше 0,1 мЗв за год, не требуется проведения мероприятий по снижению ее радиоактивности. Этому значению дозы при потреблении воды 2 кг в сутки соответствуют средние значения удельной активности за год (уровни вмешательства — УВ), приведенные в приложении 3.1. При совместном присутствии в воде нескольких радионуклидов должно выполняться условие

$$\sum_i (A_i / УВ_i) \leq 1,$$

где $A_i$ — удельная активность $i$-го радионуклида в воде;

$УВ_i$ — соответствующий уровень вмешательства.

При невыполнении указанного условия защитные действия должны осуществляться с учетом принципа оптимизации.

Предварительная оценка допустимости использования воды для питьевых целей может быть дана по удельной суммарной альфа- и бета-активности, которая не должна превышать 0,1 и 1,0 Бк/кг, соответственно.

При возможном присутствии в воде $^{3}H$, $^{14}C$, $^{131}I$, $^{210}Pb$, $^{228}Ra$ и $^{232}Th$ определение удельной активности этих радионуклидов в воде является обязательным.

Уровень вмешательства для $^{222}Rn$ в питьевой воде составляет 60 Бк/кг.

Примечание — Облучение людей за счет радона, содержащегося в питьевой воде, происходит путем перехода радона в воздух помещения и последующего ингаляционного поступления дочерних продуктов радона.

Для минеральных и лечебных вод устанавливаются специальные нормативы.

Удельная активность природных радионуклидов в фосфорных удобрениях и мелиорантах не должна превышать

$$A_U + 1{,}5 \cdot A_{Th} \leq 4{,}0 \text{ кБк/кг},$$

где $A_U$ и $A_{Th}$ — удельные активности урана-238 (радия-226) и тория −232 (тория-228), находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, соответственно.

### *3.4.3.3. Ограничение медицинского облучения*

Принципы контроля и ограничения радиационных воздействий в медицине основаны на получении необходимой и полезной диагностической информации или терапевтического эффекта при минимально возможных уровнях облучения. При этом не устанавливаются пределы доз, но используются принципы обоснования назначения радиологических медицинских процедур и оптимизации мер защиты пациентов.

При прохождении профилактических медицинских рентгенологических исследований и научных исследований практически здоровых лиц годовая эффективная доза облучения этих лиц не должна превышать 1 мЗв.

Установленный норматив годового профилактического облучения может быть превышен лишь в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки, требующей проведения дополнительных исследований или вынужденного использования методов с большим дозообразованием. Такое решение о временном вынужденном превышении этого норматива профилактического облучения принимается областным, краевым (республиканским) управлением здравоохранения.

Проведение научных исследований на людях с источниками излучения должно осуществляться по решению федерального органа здравоохранения. При этом требуется обязательное письменное согласие испытуемого и представление ему информации о возможных последствиях облучения.

Лица (не являющиеся работниками рентгенорадиологического отделения), оказывающие помощь в поддержке пациентов (тяжелобольных, детей) при выполнении рентгенорадиологических процедур, не должны подвергаться облучению в дозе, превышающей 5 мЗв в год.

Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 1 метра от пациента, которому с терапевтической целью введены радиофармацевтические препараты, не должна превышать при выходе из радиологического отделения 3 мкЗв/ч.

При использовании источников излучения в медицинских целях контроль доз облучения пациентов является обязательным. Для определения индивидуальных эффективных доз облучения пациентов при рентгенологических исследованиях используются измерители произведения дозы на площадь. Эти измерители (дозиметры) должны отвечать требованиям ГОСТ Р МЭК 580-95 и должны быть внесены в Государственный реестр средств измерений РФ. Этим требованиям соответствует широко используемый в РФ дозиметр рентгеновский клинический — ДРК-1. В дозиметре используется проходная ионизационная камера, которая «прозрачна» для рентгеновского и светового пучков и не мешает работе рентгеновского аппарата. Индивидуальная эффективная доза $E$ облучения пациента при проведении рентгенологического исследования в мЗв определяется по формуле

$$E = Ф \cdot K,$$

где $Ф$ — измеренная величина произведения дозы на площадь при проведении рентгенологического исследования, Гр · см$^2$;

$K$ — коэффициент перехода к эффективной дозе облучения пациента данного возраста с учетом вида проведенного рентгенологического исследования, проекции, размера поля, фокусного расстояния и анодного напряжения на трубке, мЗв/(Гр · см$^2$).

Коэффициенты перехода к эффективным дозам от значений произведения дозы на площадь рассчитаны для определенных антропоморфных фантомов, рекомендованных МКРЗ в качестве «стандартных» при проведении такого рода расчетов.

Коэффициенты перехода к эффективной дозе для различных видов исследования, размеров поля облучения, фокусного расстояния, значений анодного напряжения на трубке и положений человека относительно падающего излучения приведены в [43].

### *3.4.3.4. Требования по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии*

В случае возникновения аварии должны быть приняты практические меры для восстановления контроля над источником излучения и сведения к минимуму доз облучения, количества облученных лиц, радиоактивного загрязнения окружающей среды, экономических и социальных потерь.

При радиационной аварии или обнаружении радиоактивного загрязнения ограничение облучения осуществляется защитными мероприятиями, применимыми, как правило, к окружающей среде и (или) к человеку. Эти мероприятия могут приводить к нарушению нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории, т. е. являются вмешатель-

ством, влекущим за собой не только экономический ущерб, но и неблагоприятное воздействие на здоровье населения, психологическое воздействие на население и неблагоприятное изменение состояния экосистем. Поэтому при принятии решений о характере вмешательства (защитных мероприятий) следует руководствоваться следующими принципами:

предлагаемое вмешательство должно принести обществу и, прежде всего облучаемым лицам, больше пользы, чем вреда, т. е. уменьшение ущерба в результате снижения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред и стоимость вмешательства, включая его социальную стоимость (принцип обоснования вмешательства);

форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от снижения дозы, т. е. польза от снижения радиационного ущерба за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была бы максимальной (принцип оптимизации вмешательства).

Если предполагаемая доза излучения за короткий срок (2 суток) достигает уровней, при превышении которых возможны клинически определяемые детерминированные эффекты (табл. 3.3), необходимо срочное вмешательство (меры защиты). При этом вред здоровью от мер защиты не должен превышать пользы здоровью пострадавших от облучения.

Таблица 3.3

**Прогнозируемые уровни облучения, при которых необходимо срочное вмешательство**

| Орган или ткань | Поглощенная доза в органе или ткани за 2 суток, Гр |
|---|---|
| Все тело | 1 |
| Легкие | 6 |
| Кожа | 3 |
| Щитовидная железа | 5 |
| Хрусталик глаза | 2 |
| Гонады | 3 |
| Плод | 0,1 |

При хроническом облучении в течение жизни защитные мероприятия становятся обязательными, если годовые поглощенные

дозы превышают значения, приведенные в табл. 3.4. Превышение этих доз приводит к серьезным детерминированным эффектам.

Таблица 3.4

**Уровни вмешательства при хроническом облучении**

| Орган или ткань | Годовая поглощенная доза, Гр |
|---|---|
| Гонады | 0,2 |
| Хрусталик глаза | 0,1 |
| Красный костный мозг | 0,4 |

Уровни вмешательства для временного отселения населения составляют: для начала отселения — 30 мЗв в месяц, для окончания временного отселения — 10 мЗв в месяц. Если прогнозируется, что накопленная за один месяц доза будет находиться выше указанных уровней в течение года, следует решать вопрос об отселении населения на другое постоянное место жительства.

При проведении противорадиационных вмешательств пределы доз (табл. 3.2) не применяются. Исходя из указанных принципов, при планировании защитных мероприятий на случай радиационной аварии органами Госсанэпиднадзора устанавливаются уровни вмешательства (дозы и мощности доз облучения, уровни радиоактивного загрязнения) применительно к конкретному радиационному объекту и условиям его размещения с учетом вероятных типов аварии, сценариев развития аварийной ситуации и складывающейся радиационной обстановки.

При аварии, повлекшей за собой радиоактивное загрязнение обширной территории, на основании контроля и прогноза радиационной обстановки устанавливается зона радиационной аварии. В зоне радиационной аварии проводится контроль радиационной обстановки и осуществляются мероприятия по снижению уровней облучения населения на основе выше приведенных принципов и подходов.

Критерии для принятия решений о мерах защиты населения в случае крупной радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории на основании сравнения прогнозируемой дозы, предотвращаемой защитным мероприятием, и значений загрязнения с уровнями А и Б, приведены в табл. 3.5—3.7.

Если уровень облучения, предотвращаемого защитными мероприятиями, достигает и превосходит уровень Б, необходимо выполнение соответствующих мер защиты, даже если они связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории.

Таблица 3.5

**Критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии**

| Меры защиты | Предотвращаемая доза за первые 10 суток, мГр | | | |
|---|---|---|---|---|
| | На все тело | | Щитовидная железа, легкие, кожа | |
| | Уровень А | Уровень Б | Уровень А | Уровень Б |
| Укрытие | 5 | 50 | 50 | 500 |
| Йодная профилактика:<br>- Взрослые<br>- Дети | <br>—<br>— | <br>—<br>— | <br>250*<br>100* | <br>2500*<br>1000* |
| Эвакуация | 50 | 500 | 500 | 5000 |
| * Только для щитовидной железы | | | | |

Таблица 3.6

**Критерии для принятия решений об отселении и ограничении потребления загрязненных пищевых продуктов**

| Меры защиты | Предотвращенная эффективная доза, мЗв | |
|---|---|---|
| | Уровень А | Уровень Б |
| Ограничение потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды | 5 за первый год<br>1/год в последующие годы | 50 за первый год<br>10/год в последующие годы |
| Отселение | 50 за первый год | 500 за первый год |
| | 1000 за все время отселения | |

На поздних стадиях радиационной аварии, повлекшей за собой загрязнение обширных территорий долгоживущими радионуклидами, решения о защитных мероприятиях принимаются с учетом сложившейся радиационной обстановки и конкретных социально-экономических условий.

Решения применительно к последствиям аварийных прецедентов и локальных радиоактивных загрязнений принимаются на основе критериев вмешательства на загрязненных территориях, приведенных в приложении 3.2.

Таблица 3.7

**Критерии для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов питания в первый год после возникновения аварии**

| Радионуклиды | Удельная активность радионуклида в пищевых продуктах, Бк/кг | |
|---|---|---|
| | Уровень А | Уровень Б |
| $^{131}I$, $^{134}Cs$, $^{137}Cs$ | 1 | 10 |
| $^{90}Sr$ | 0,1 | 1,0 |
| $^{238}Pu$, $^{239}Pu$, $^{241}Am$ | 0,01 | 0,1 |

Примерно по этому варианту принимались решения при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Мероприятия, проводимые в рамках ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, и необходимость контроля радиационной обстановки и радиационной безопасности населения на обширных территориях способствовали разработке законодательной, нормативной и методической базы (в том числе, дозиметров для населения — бытовых дозиметров) для эффективного контроля радиационной обстановки в различных ситуациях. Были разработаны санитарные правила и нормы, включающие в себя гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов (в том числе, по радиационному фактору) [37], гигиенические требования к качеству воды [38], допустимые уровни содержания радионуклидов осколочного происхождения в продукции лесного хозяйства [41], гигиенические требования и допустимые уровни физических факторов товаров народного потребления [42]. Нормативы качества и безопасности (по радиационному признаку) для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов приведены в приложении 3.3., допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства в приложении 3.4.

Критерии принятия решений и производные уровни для ограничительных мер при авариях с диспергированием преимущественно урана, плутония, других трансурановых элементов устанавливаются специальным нормативным документом.

### 3.4.4. Требования к контролю за выполнением установленных норм

Радиационный контроль является важнейшей частью обеспечения радиационной безопасности, начиная со стадии проектирования радиационноопасных объектов. Он имеет целью определение

степени соблюдения принципов радиационной безопасности и требований нормативов, включая не превышение установленных основных пределов доз и допустимых условий при нормальной работе, получение необходимой информации для оптимизации защиты и принятия решений о вмешательстве в случае радиационных аварий, загрязнения местности и зданий радионуклидами, а также на территориях и в зданиях с повышенным уровнем природного облучения. Радиационный контроль осуществляется за всеми источниками излучения, кроме упомянутых в п. 3.4.1, на которые не распространяется действие норм НРБ-99.

Радиационному контролю подлежат:

радиационные характеристики источников излучения, выбросов в атмосферу, жидких и твердых радиоактивных отходов;

радиационные факторы, создаваемые технологическим процессом на рабочих местах и в окружающей среде;

радиационные факторы на загрязненных территориях и в зданиях с повышенным уровнем природного облучения;

уровни облучения персонала от всех источников излучения, на которые распространяются действующие Нормы.

Основными контролируемыми параметрами являются:

годовая эффективная и эквивалентные дозы;

поступление радионуклидов в организм и их содержание в организме для оценки годового поступления;

объемная и удельная активность радионуклидов в воздухе, воде, продуктах питания, строительных материалах и др.;

радиоактивное загрязнение кожных покровов, одежды, обуви, рабочих поверхностей;

доза и мощность дозы внешнего излучения;

плотность потока частиц.

Переход от измеряемых (операционных) величин к нормируемым определяется специальными методическими указаниями [14—17].

Государственный надзор за выполнением Норм радиационной безопасности осуществляют органы Госсанэпиднадзора и другие органы, уполномоченные Правительством Российской Федерации в соответствии с действующими нормативными актами.

Контроль за соблюдением Норм в организациях, независимо от форм собственности, возлагается на администрацию этой организации. Контроль за облучением населения возлагается на органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

При возникновении радиационной аварии:

контроль за ее развитием, защитой персонала в организации и аварийных бригад осуществляется администрацией этой организации;

контроль за облучением населения осуществляется местными органами власти и государственного надзора за радиационной безопасностью.

Контроль за медицинским облучением пациентов возлагается на администрацию органов и учреждений здравоохранения.

### 3.4.5. Значения допустимых уровней радиационного воздействия

Для каждой категории облучаемых лиц значение допустимого уровня радиационного воздействия для конкретного пути облучения определено таким образом, чтобы при этом уровне воздействия только данного пути облучения в течение года величина дозы равнялась величине соответствующего годового предела (усредненного за 5 лет), указанного в табл. 3.2.

Значения допустимых уровней для всех путей облучения определены для стандартных условий, которые характеризуются следующими параметрами:

объемом вдыхаемого воздуха $V$, с которым радионуклид поступает в организм на протяжении календарного года;

временем облучения $t$ в течение года;

массой питьевой воды $M$, с которой радионуклид поступает в организм на протяжении календарного года;

геометрией внешнего облучения ионизирующего излучения.

Для населения установлены следующие значения стандартных параметров: $t = 8800$ ч в год; $M = 730$ кг; объем вдыхаемого воздуха $V$ установлен в зависимости от возраста и приведен в табл. 3.8.

Таблица 3.8

**Годовой объем вдыхаемого воздуха для разных возрастных групп населения**

| Возраст, лет | До 1 | 1—2 | 2—7 | 7—12 | 12—17 | Взрослые (старше 17) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V$, тыс. куб. м в год | 1,0 | 1,9 | 3,2 | 5,2 | 7,3 | 8,1 |

В приложении 3.1 приведены значения дозовых коэффициентов, а также величин $ПГП_{нас}$ и $ДОА_{нас}$, рассчитанные для аэрозолей с использованием модели органов дыхания, рекомендованной Публикацией 66 МКРЗ.

В приложение 3.1 не включены радионуклиды $^{87}Rb$, $^{115}In$, $^{144}Nd$, $^{147}Sm$, $^{187}Re$, поскольку они нормируются по их химической токсичности. Из-за химической токсичности урана поступление через органы дыхания его соединений типов Б и П не должно превышать 2,5 мг в сутки и 500 мг в год. В приложение 3.1 не включены также инертные газы, поскольку они являются источниками внешнего облучения, а также изотопы радона с продуктами их распада.

В стандартных условиях многофакторного поступления радионуклидов годовое поступление радионуклидов через органы дыхания и среднегодовая объемная активность их во вдыхаемом воздухе не должны превышать числовых значений ПГП и ДОА, приведенных в приложении 3.1, где пределы доз для населения составляют 1 мЗв в год.

В приложении 3.1 приводятся следующие данные:

а) для случая поступления радионуклидов с вдыхаемым воздухом — критическая возрастная группа, значения дозового коэффициента и предела годового поступления $ПГП_{нас}$ для этой же возрастной группы и типа соединений, для которых допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$ оказалась наименьшей;

б) для случая поступления радионуклидов с водой и пищей — критическая возрастная группа, значения дозового коэффициента и предела годового поступления $ПГП_{нас}$ для этой же группы, где $ПГП_{нас}$ наименьшее, а также уровень вмешательства по среднегодовой удельной активности в питьевой воде $УВ_{нас}$. УВ в пищевых продуктах не приводятся и должны определяться по специальным методическим указаниям с учетом местных особенностей внутреннего и внешнего облучения населения и с обеспечением непревышения основных пределов доз (табл. 3.2) в нормальных условиях и критериев, указанных в табл. 3.6 и 3.7 при аварийном облучении.

В условиях нестандартного поступления радионуклидов величины ПГП и ДОА устанавливаются методическими указаниями федерального органа Госсанэпиднадзора.

НРБ-99 устанавливает уровни минимально значимых удельных активностей (МЗУА) и активностей в помещении или на рабочем месте (МЗА), на которые действие норм, регламентируемых НРБ-99, не распространяется. При уровнях активности, которые меньше приведенных в НРБ-99, эффективная индивидуальная годовая доза облучения лиц из персонала и населения не превысит 10 мкЗв и в аварийных случаях 1 мЗв, а эквивалентная доза на кожу не превысит 50 мЗв в год.

В течение последних нескольких лет специальная рабочая группа МАГАТЭ разрабатывает документ, имеющий в настоящее время условное название «Радиоактивность в материалах, не требующих регулирования с целью обеспечения радиационной защиты». Предполагается, что этим документом для широкого спектра радионуклидов будут устанавливаться значения удельной активности нуклидов в материале, при соблюдении (непревышение) которых данный материал не следует рассматривать как радиоактивное вещество с точки зрения системы регулирования радиационной безопасности. Это

руководство не будет охватывать продукты питания и питьевую воду, на радиоактивность которых накладывают ограничения другие регулирующие документы. После принятия этого документа как международного руководства национальные органы, ответственные за регулирование вопросов радиационной безопасности, смогут принять согласованные правила для своих стран.

## 3.5. Приборы и методы измерений характеристик ионизирующих излучений

### 3.5.1. Определение нормируемых величин по результатам инструментального радиационного контроля

Правила и нормы предписывают определять облучение источниками ионизирующего излучения в единицах нормируемых величин, являющихся мерой ущерба от воздействия излучения на человека (эффективная доза, эквивалентная доза облучения органа или ткани, ожидаемая эффективная доза) и не поддающихся непосредственному измерению. В комплексе новых нормативных документов [14—17] для соблюдения указанных требований впервые установлены так называемые операционные величины. Они однозначно определяются через физические характеристики поля излучения в точке или через физико-химические характеристики поля аэрозоля в точке и максимально приближены к нормируемым величинам в стандартных условиях облучения. Операционные величины предназначены для определения соответствующих индивидуальных доз и при дозиметрическом контроле являются консервативными оценками этих величин. Правила и нормы устанавливают, что средства измерений (СИ), используемые в радиационном контроле, должны градуироваться в единицах операционных, величин. Устанавливается также соотношение между нормируемыми и операционными величинами.

Как указывалось ранее, воздействие ионизирующих излучений складывается из внешнего облучения тела человека и внутреннего облучения за счет радионуклидов, попавших в организм, в первую очередь, через органы дыхания. Различен и подход к аппаратурно-методическому обеспечению радиационного контроля внешнего [15, 16] и внутреннего [15, 17] облучения.

Приборы для дозиметрического контроля как внешнего, так и внутреннего облучения делятся на приборы контроля радиационной обстановки (или приборы группового контроля) и приборы индивидуального контроля.

Приборы группового контроля предназначены для определения индивидуальных доз облучения человека на основании результатов измерений характеристик радиационной обстановки на определенной местности или в определенных помещениях с учетом времени его пребывания там.

Приборы индивидуального контроля предназначены для определении индивидуальных доз облучения человека на основании результатов индивидуальных измерений характеристик облучения тела или отдельных органов каждого человека.

Для группового дозиметрического контроля (ГДК) используются стационарные и переносные, так называемые инспекционные дозиметрические приборы. Для индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) применяются индивидуальные дозиметры.

В течение длительного времени операционными величинами как для ГДК, так и для ИДК по существу являлись для фотонного излучения экспозиционная доза и ее мощность, для бета- и альфа-излучений, а также нейтронов плотность потока частиц, хотя понятия операционной величины и не существовало.

Современное состояние парка приборов для ГДК имеет следующие особенности:

с одной стороны, в эксплуатации все еще находятся измерители экспозиционной дозы и ее мощности, разработанные до 1990 г. Они морально и физически устарели, их выпуск прекращен, однако они значатся в Госреестре СИ, допущенных к применению в стране. Как отмечалось, переход от экспозиционной дозы к величинам, нормируемым НРБ-99, затруднен. В некоторых частных случаях он может быть осуществлен, пользуясь МУ [16];

с другой стороны, к середине 90-х годов был освоен выпуск нового поколения измерителей эквидозиметрических величин, определенных в РД [11], таких, как полевая доза и амбиентный эквивалент дозы. При этом ряд новых разработок наряду с измерениями этих величин, имеют шкалы, отградуированные в единицах экспозиционной дозы.

Новые нормативные документы [15, 16] ввели для контроля радиационной обстановки в рабочих помещениях и на рабочих местах в целях группового дозиметрического контроля операционную величину — мощность амбиентного эквивалента дозы $H^*(d)$. Рекомендуемая единица этой величины — мкЗв/ч.

Значение параметра $d$, мм (см. рис. 3.1), определяющего требования к приборам дозиметрического контроля, зависит от того, для определения какой нормируемой величины в соответствии с НРБ-99 ( см. табл. 3.2) используется ее амбиентный эквивалент.

Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при ГДК представлено в табл. 3.9.

Таблица 3.9

**Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при групповом дозиметрическом контроле**

| Нормируемая величина | Операционная величина: мощность амбиентного эквивалента дозы | |
|---|---|---|
| | $d$, мм | Условное обозначение |
| Мощность эквивалентной дозы внешнего облучения кожи | 0,07 | $\dot{H}^*(0,07)$ |
| Мощность эквивалентной дозы внешнего облучения хрусталика глаза | 3 | $\dot{H}^*(3)$ |
| Мощность эквивалентной дозы внешнего облучения на поверхности нижней части области живота женщины | 10 | $\dot{H}^*(10)$ |
| Мощность эффективной дозы внешнего облучения | 10 | $\dot{H}^*(10)$ |

Таким образом, при наличии данных группового контроля мощности амбиентного эквивалента дозы и при отсутствии данных об энергетическом спектре частиц за значение эффективной дозы внешнего излучения $E^{\text{внеш}}$, мЗв, следует принимать

$$E^{\text{внеш}} = 0{,}001 \times \sum_k \dot{H}^*(10)_k \times \Delta t_k ,$$

где $\Delta t_k$ — длительность пребывания индивидуума в $k$-ой точке (на местности или в помещении) в течение контролируемого периода в часах при средней мощности амбиентного эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)_k$, мкЗв/ч. Это значение будет являться консервативной оценкой эффективной дозы.

Если нет сведений об энергетическом спектре излучения, за значение эквивалентной дозы в хрусталике глаза, в коже и эквивалентной дозы на поверхности низа живота женщины $H_T$, мЗв, полученных в течение соответствующего контролируемого периода, следует принимать

$$H_T = 0{,}001 \times \sum_k \dot{H}^* \cdot (d_n)_k \times \Delta t_k,$$

где $\Delta t_k$ — длительность пребывания индивидуума в $k$-ой точке (на местности или в помещении) в течение контролируемого периода в часах при средней мощности амбиентного эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)_k$, мкЗв/ч.

Операционной величиной внешнего облучения для индивидуального контроля доз облучения человека в [15, 16] принят индивидуальный эквивалент дозы в мягкой биологической ткани, определяемый на глубине $d$ (мм) под рассматриваемой точкой на теле (см. рис. 3.2).

В табл. 3.10 приведено соответствие между нормируемыми и операционными величинами при ИДК.

Таблица 3.10

**Соответствие между нормируемыми и операционными величинами при индивидуальном дозиметрическом контроле**

| Нормируемая величина | Операционная величина: индивидуальный эквивалент дозы | | |
|---|---|---|---|
| | Положение индивидуального дозиметра | $d$, мм | Условное обозначение |
| Эквивалентная доза внешнего облучения кожи | Непосредственно на поверхности наиболее облучаемого участка кожи | 0,07 | $H_p(0{,}07)$ |
| Эквивалентная доза внешнего облучения хрусталика глаза | На лицевой части головы | 3 | $H_p(3)$ |
| Эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота женщины | На соответствующем месте поверхности спецодежды | 10 | $H_p(10)$ |
| Эффективная доза внешнего облучения | На нагрудном кармане спецодежды либо внутри него | 10 | $H_p(10)$ |

За значение эффективной дозы внешнего облучения следует принимать

$$E^{\text{внеш}} = F \times H_p(10),$$

где $F$ — коэффициент перехода от операционных к нормируемым величинам при контроле индивидуальной эффективной дозы внешнего облучения.

При равномерном облучении человека любым проникающим излучением, за исключением:

нейтронов с энергиями от 1 эВ до 30 кэВ;

фотонов с энергиями менее 20 кэВ,

значение коэффициента $F$ следует принимать равным 1.

В случае, когда вклад нейтронов или фотонов указанных энергий в эффективную дозу превышает 50 %, а также в случае неравномерного облучения тела человека, когда отношение максимальной плотности потока излучения, падающего на торс, к средней превышает 2,0, значение коэффициента $F$ устанавливается в специальных моделях дозиметрического контроля.

За значение эквивалентных доз внешнего облучения органов и тканей ($H_T$) следует принимать значения соответствующих операционных величин индивидуального дозиметрического контроля:

$$H_{\text{кожа}} = H_P(0{,}07);$$
$$H_{\text{стопы и кисти}} = H_P(0{,}07);$$
$$H_{\text{хрусталик}} = H_P(3);$$
$$H_{\text{низ живота}} = H_P(10).$$

В условиях аварийного облучения, когда дозы внешнего облучения превышают или могут превысить граничные уровни, нормируемые для планируемого повышенного облучения, для обеспечения радиационной безопасности необходимо определять поглощенные дозы облучения органов и тканей человека.

При определении поглощенных доз внешнего аварийного облучения отдельных органов или тканей за значение определяемой величины следует принимать среднее значение дозы в чувствительном объеме органа или ткани. В случае радиационной аварии важнейшей задачей дозиметрического контроля является исследование и детальное восстановление (реконструкция) условий облучения и определение пространственного распределения поглощенных доз в теле облученного на основании измеряемых характеристик внешнего облучения.

Прямое определение индивидуальных доз внутреннего облучения невозможно, и для целей дозиметрического контроля эта задача решается в два этапа:

проведение измерений активности радионуклидов либо во всем теле человека или отдельных его органах, либо в выделениях или других пробах биологического происхождения, либо на фильтрах стационарных и индивидуальных пробоотборников;

интерпретация результатов указанных измерений, т. е. восстановление величин поступления радионуклидов за год и ожидаемой эффективной дозы (ОЭД) внутреннего облучения, обусловленной по-

ступлением в организм данных радионуклидов, с использованием соответствующих моделей и в рамках конкретных методик выполнения расчетов.

Физическими величинами, характеризующими внутреннее облучение человека и измеряемыми при дозиметрическом контроле внутреннего облучения, являются:

$Q_{U,G}$ — определяемая в воздухе помещения (рабочего места) величина объемной активности соединений радионуклида $U$, которые при ингаляции следует отнести к типу $G$;

$S_{T,U}$ — активность радионуклида $U$, определяемая в органе $T$ либо в биологических образцах (выделениях или образцах тканей).

Нормируемыми величинами для дозиметрического контроля при внутреннем облучении являются

$П_{U,\ G}$ — поступление в организм человека через органы дыхания соединений радионуклида $U$, которые при ингаляции следует отнести к типу $G$;

$E(\tau)$ — ОЭД;

эквивалентная доза внутреннего облучения органа или ткани в результате повышенного однократного поступления радионуклида в организм, реализованная к определенному сроку.

Так же как и при дозиметрическом контроле внешнего облучения для дозиметрического контроля внутреннего облучения используют групповой дозиметрический контроль облучения (ГДК) и индивидуальный дозиметрический контроль облучения (ИДК).

ГДК заключается в определении значения ОЭД человека по результатам систематических измерений объемной активности в воздухе в месте его пребывания с учетом времени его пребывания в этом месте. Значения ОЭД, которые могут быть получены с помощью ГДК, характеризуются значительной неопределенностью.

### 3.5.2. Основные методы измерений

Средства измерений ионизирующих излучений условно делятся на следующие классы: дозиметры, радиометры, спектрометры.

***Дозиметры*** — средства измерений экспозиционной дозы и ее мощности, поглощенной дозы и ее мощности, полевой поглощенной дозы и ее мощности, амбиентного эквивалента дозы и его мощности, полевой эквивалентной дозы и ее мощности, индивидуального эквивалента дозы.

***Радиометры*** — средства измерений активности радионуклидов в образцах и объектах, удельной активности радионуклидов в твердых и сыпучих материалах, объемной активности радионуклидов в жидкостях и газах, объемной активности радиоактивных аэрозолей, удельной поверхностной активности, плотности потока частиц и др.

***Спектрометры*** — средства измерений энергии частиц ионизирующих излучений.

В комбинированных приборах могут объединяться функции средств измерений из различных классов.

В перечень технических требований на средства измерений ионизирующих излучений входят следующие основные метрологические характеристики:

диапазон значений измеряемых величин;

диапазон энергий частиц ионизирующих излучений (перечень радионуклидов);

основная погрешность;

дополнительные погрешности при изменении температуры, напряжения, давления, влажности, электрического и магнитного поля и др.;

энергетическая зависимость чувствительности;

чувствительность к сопутствующим излучениям;

анизотропия.

*Основная погрешность* — погрешность средства измерений, используемого в нормальных условиях. Основная погрешность может указываться в виде одного значения для всего диапазона измерений, разных значений для отдельных поддиапазонов, в виде аналитического выражения как функции значений измеряемой величины.

В силу специфики взаимодействия ионизирующего излучения с веществом значительная часть случайной составляющей погрешности связана со стохастическим характером процесса взаимодействия и уменьшается при увеличении суммарного времени измерения, поэтому во многих случаях эту составляющую погрешности можно уменьшить, усредняя значение измеряемой величины за больший промежуток времени или увеличивая количество наблюдений.

Специфические параметры, характерные для средств измерений ионизирующих излучений (энергетическая зависимость чувствительности, анизотропия, чувствительность к сопутствующим излучениям и др.), приводят к увеличению значения погрешности при измерениях в реальных условиях, так как при поверке средств измерений используются определённые условия, связанные с этими параметрами, и они могут не совпадать с условиями измерений. Поэтому в ряде случаев решающим условием получения достоверности результата измерения является соблюдение определенной методики выполнения измерений. В табл. 3.11 указаны совпадения (да) или несовпадения (нет) условий поверки и условий измерений в большинстве практических случаев с учетом методик выполнения измерений.

Требования к допустимому значению погрешности могут изменяться в зависимости от использования результатов измерений. Например, из принципа нормирования следует

$$(E_{инд} + \Delta E_{инд}) / E_{доп} \leq \alpha,$$

где $E_{инд}$ — индивидуальное значение эффективной дозы, полученное с использованием значений измеряемых величин, характеризующих внешнее и внутреннее облучение;

$\Delta E_{инд}$ — погрешность определения индивидуального значения эффективной дозы;

$E_{доп}$ — допустимый предел дозы для персонала;

$\alpha$ — фактор неопределенности, который устанавливается отдельными нормативными документами и отражает реально достижимую на современном этапе точность измерения.

Отсюда следует, что при приближении измеренных значений к значению допустимого предела требования к погрешности средства измерения ужесточаются. В любом случае необходимо установить контрольный уровень допустимого измеряемого значения ниже допустимого предела на величину погрешности используемых средств измерений с тем, чтобы гарантировать непревышение допустимого предела дозы облучения. По мере совершенствования средств и методов измерения, а также уточнения моделей перехода от измеряемых (операционных) величин к нормируемым величинам, значение фактора неопределенности $\alpha$ должно стремиться к 1. В соответствии с методическими указаниями МУ 2.6.1.016—2000 [15] в настоящее время фактор неопределенности $\alpha$ принимается равным 1,5 для эффективной дозы внешнего облучения гамма-излучением, 2 — для эффективной дозы внешнего облучения нейтронами, 2,5 — для эффективной дозы внутреннего облучения.

Различие методов измерений связано с использованием различных методов регистрации излучений, применяемых в измерительных преобразователях (блоках детектирования), и методов обработки, применяемых в аппаратурных средствах обработки информации с измерительных преобразователей и отдельных методиках обработки.

Основные методы регистрации излучений:

***калориметрический метод*** — метод, основанный на измерении изменения температуры жидкого или твердого поглотителя при поглощении в нем энергии излучения. Метод имеет ряд модификаций, связанных с различными методами измерения изменения температуры в поглотителе. Метод в основном используется в первичных и вторичных эталонах и из-за малой чувствительности и громоздкости измерительной аппаратуры не используется в обычных условиях в сфере контроля радиационной безопасности;

***ионизационный метод*** — метод с использованием детекторов с газовым наполнением (ионизационные камеры, счетчики), в которых заряженные частицы (непосредственно ионизирующее из-

лучение или вторичные заряженные частицы, возникающие при взаимодействии косвенно ионизирующего излучения с атомами вещества стенки детектора или газа) вызывают ионизацию газа. Метод имеет ряд разновидностей в зависимости от способа регистрации ионизации: регистрация факта возникновения ионизации от одной частицы независимо от энергии, потраченной на ионизацию (реализуется в счетчиках с газовым усилением); регистрация суммарной ионизации, пропорциональной энергии, переданной каждой заряженной частицей газу (реализуется в пропорциональных счетчиках с газовым усилением и в импульсных ионизационных камерах без газового усиления); регистрация суммарной ионизации, образованной всеми заряженными частицами за определенное время (ионизационные камеры). Метод нашел широкое применение как в эталонных средствах измерения, так и в рабочих средствах измерения, используемых в сфере контроля радиационной безопасности;

***сцинтилляционный метод*** — метод с использованием органических и неорганических сцинтилляторов, в которых энергия, передаваемая излучением, превращается в световое излучение и регистрируется с помощью детекторов, чувствительных к световому излучению в данном спектре (фотоумножители, фотодиоды). Разновидности метода заключаются в регистрации акта взаимодействия отдельной частицы со сцинтиллятором (счетный режим), регистрации эффекта взаимодействия ряда частиц со сцинтиллятором за определенное время (токовый или зарядовый режим); регистрации световой энергии, пропорциональной энергии, переданной частицей (пропорциональный или спектрометрический режим). Метод используется в эталонных и рабочих средствах измерения;

***термолюминесцентный метод*** — метод, заключающийся в регистрации энергии, запасенной в специальном веществе при взаимодействии излучения с этим веществом и освобождаемой в виде светового излучения при последующем нагревании этого вещества в определенных условиях. Световая энергия (световыход) пропорциональна энергии, переданной образцу из этого вещества. Метод нашел широкое применение в рабочих средствах измерения.

***полупроводниковый метод*** — метод, основанный на регистрации изменений свойств полупроводникового детектора, вызванный взаимодействием излучения с полупроводниковым материалом, или регистрации импульсов (тока), возникающих от образования электронов (дырок) в полупроводниковом детекторе падающим на него излучением. Метод имеет модификации, связан-

ные с регистрацией факта взаимодействия каждой частицы без учета выделенной энергии (счетный режим); регистрацией выделения энергии излучением за определенное время (токовый режим); регистрацией энергии выделенной в детекторе каждой частицей (спектрометрический режим). Метод используется в эталонных и рабочих средствах измерения;

***фотоэмульсионный метод*** — метод, основанный на регистрации изменений в фотоэмульсии, вызванной взаимодействием излучения со светочувствительным материалом фотоэмульсии. Модификации метода связаны с регистрацией плотности почернения, вызванного поглощением энергии излучения в фотоэмульсии за определенное время, или с регистрацией и анализом треков в фотоэмульсии, образованных каждой частицей. Метод используется в рабочих средствах измерения;

***активационный метод*** — метод, основанный на регистрации наведенной активности в детекторах из различных материалов, вызванной в материале при облучении его нейтронами. Метод используется в эталонных и рабочих средствах измерения.

### 3.5.3. Средства измерений, наиболее широко используемые в сфере контроля радиационной безопасности

Перечень средств измерений приведен в табл. 3.12—3.18.

Таблица 3.12

**Средства измерений ионизирующих излучений (дозиметры, дозиметры-радиометры)**

| Тип СИ, № в Госреестре — год занесения | Измеряемая величина* | Единица измерения | Вид излучения: г — гамма, б — бета, а — альфа, н — нейтроны | Диапазон энергий, МэВ | Диапазон измерений | Основная погрешность, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| ИФКУ-1 04216—74 | ЭксД | мР | г | 0,1—1,25 | 50—2000 | 30 |
| ДРГ-01Т 11036—87 | МЭксД | мР/ч | г | 0,05—3 | $10^{-2}$—$10^{4}$ | 15—60 |
| МКС-01Р1 11126—87 | МЭквД | мкЗв/ч | г | 0,03—3 | 1—$10^{5}$ | 20 |

*Продолжение табл. 3.12*

| Тип СИ, № в Госреестре — год занесения | Измеряемая величина* | Единица измерения | Вид излучения: г — гамма, б — бета, а — альфа, н — нейтроны | Диапазон энергий, МэВ | Диапазон измерений | Основная погрешность, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| МКС-01Р1 11126—87 | МЭквД | | н | $2{,}5 \cdot 10^{-8}$—10 | 1—$10^5$ | 20 |
| | ПП: | $с^{-1}м^{-2}$ | | | | |
| | тепловые | | н | | $10^4$—$10^7$ | 20 |
| | быстрые | | н | $2{,}5 \cdot 10^{-8}$ | $10^4$—$10^7$ | 20 |
| | | | б | 0,01—10 | $10^4$—$10^7$ | 20 |
| | | | а | 0,15—4 | $10^4$—$10^7$ | 20 |
| | | | | 4—7 | | |
| КДТ-02М 08735—89 | ЭксД | Р | г | 0,06—1,25 | 0,05—1000 | 15—45 |
| ТДК-01Ц 12462—90 | ИЭквД | Зв | г | 0,05—1,25 | $10^{-5}$—10 | 20—30 |
| ДВГ-01П 12440—90 | ЭквД | мЗв | г | 0,04—3 | 0,01—320 | 25 |
| ДБГ-01Н 12424—90 | МЭквД | мкЗв/ч | г | 0,05—3 | 0,1—1000 | 25—90 |
| ДБГ-06Т 12156—90 | МЭквД | мкЗв/ч | г | 0,1—3 | 0,1—100 | 25 |
| ДРГ-05М 07831—91 | МЭксД<br>ЭксД | мкР/с<br>мР | г | 0,015—3 | $10^{-2}$—$10^4$<br>1—$10^4$ | 15—40 |
| ДКС-90 13304—92 | МЭквД | мкЗв/ч | г | 0,015—3 | $0{,}1$—$1 \cdot 10^6$ | 20—40 |
| ДБГ-04А 12840—91 | МЭквД | мкЗв/ч | г | 0,05—3 | 0,1—100 | 20—60 |
| Экоюникс 13184—92 | МЭквД<br>УА | мкЗв/ч<br>Бк/кг | г | 0,05—3 | 0,1—100<br>$3 \cdot 10^2$—$1 \cdot 10^6$ | 20—60 |
| EL1101 15662—96 | МЭквД | мкЗв/ч | г | 0,05—1,25 | 0,1—1000 | 20—60 |
| ДКГ-01 «Сталкер» 15802—96 | МЭквД | мкЗв/ч | г | 0,05—1,25 | 0,1—1000 | 20—60 |

*Окончание табл. 3.12*

| Тип СИ, № в Госреестре — год занесения | Измеряемая величина* | Единица измерения | Вид излучения: г — гамма, б — бета, а — альфа, н — нейтроны | Диапазон энергий, МэВ | Диапазон измерений | Основная погрешность, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| ДВГ-РМ1103 14959—95 | МЭквД | мкЗв/ч | г | 0,05—1,25 | 0,1—3000 | 20—60 |
| S2010 SPECTR 14128—94 | МЭксД | мР/ч | г | Селективный: 4—14; 14—35; 35—90; 90—140; 14—140 (кэВ) | 0,1—9 | 25 |
| АКИДК-201 14902—95 | ИЭквД | мЗв | г | 0,015—3 | $5 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10^{6}$ | 15—25 |
| РАДОС-ИНТРА 15763—96 | ИЭквД | мЗв | г | 0,015—3 | $5 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10^{6}$ | 15—25 |
| САПФИР-001 15037—95 | ИЭквД | мЗв | г | 0,015—3 | $5 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10^{6}$ | |

** Обозначения измеряемых величин: МЭксД — мощность экспозиционной дозы; ЭксД — экспозиционная доза; МЭквД — мощность эквивалентной дозы; ЭквД — эквивалентная доза; ИЭквД — индивидуальная эквивалентная доза; ПП — плотность потока частиц.*

Таблица 3.13

**Средства измерений ионизирующих излучений (радиометры, спектрометры)**

| Тип СИ, № в Госреестре — год занесения | Измеряемая величина* | Единица измерения | Вид излучения: г — гамма, б — бета, а — альфа | Диапазон энергий, МэВ (радионуклид) | Диапазон измерений | Основная погрешность, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Радиометр РКБ4-1ЕМ 05880—88 | УА<br>ОА | Бк/кг<br>Бк/л | б | 0,15—4 | $1{,}9$—$3{,}7 \cdot 10^{3}$<br>То же | 30—90<br>То же |

*Продолжение табл. 3.13*

| Тип СИ, № в Госреестре — год занесения | Измеряемая величина* | Единица измерения | Вид излучения. г — гамма, б — бета, а — альфа | Диапазон энергий, МэВ (радионуклид) | Диапазон измерений | Основная погрешность, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Радиометр КРВП-3АБ 05201—75 | УА<br>ОА | Ки/кг<br>Ки/л | а<br>б | 4—8<br>0,15—4 | $3 \cdot 10^{-8}$—$10^{-6}$<br>То же | 30—90 |
| Радиометр РИА-01В 11902—89 | А | Бк | а | 4—7 | $8{,}3 \cdot 10^{-4}$—<br>—$3{,}7 \cdot 10^{2}$ | 25 |
| Радиометр РИБ-04П 12347—90 | А | Бк | б | Тритий, С-14, Р-32 | $1 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10^{4}$ | 35 |
| Радиометр РГА-01 07538—88 | ОА | Бк/м³ | Радон | | $1 \cdot 10^{2}$—$1 \cdot 10^{9}$ | 30 |
| Спектрометр излучения человека СЕГ-02Т 12277—90 | А<br>Тело<br>Легкие<br>Щитовидная железа | Бк | г | 0,05—3 | $2 \cdot 10^{4}$—$3{,}7 \cdot 10^{7}$<br>$1 \cdot 10^{4}$—$1{,}8 \cdot 10^{6}$<br>$6 \cdot 10^{3}$—$9 \cdot 10^{5}$ | 10 |
| Спектрометр излучения человека СЕГ-01Т 12278—90 | А | Бк | г | 0,05—3 | $1 \cdot 10^{4}$—$3{,}7 \cdot 10^{7}$ | 10 |
| Радиометр РКС-07П 12245—90 | ОА | Бк/м³ | | Sr-Y-90<br>Ks-133,<br>Kr-85,<br>Ar-41<br>I-131 | $3 \cdot 10^{-1}$—$3 \cdot 10^{4}$<br>$2 \cdot 10^{4}$—$3 \cdot 10^{11}$<br>$3 \cdot 10^{-1}$—$8 \cdot 10^{4}$ | 30—90 |
| Спектрометр СЭГ-10 08225—91 | Е | МэВ | | 0,05—3 | 0,05—3 | 0,16 |

*Продолжение табл. 3.13*

| Тип СИ, № в Госреестре — год занесения | Измеряемая величина* | Единица измерения | Вид излучения: г — гамма, б — бета, а — альфа | Диапазон энергий, МэВ (радионуклид) | Диапазон измерений | Основная погрешность, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| КСИРА-2010-Z 14564—95 | Интегральная ОА | См. табл. 3.14 | | | | |
| RAMON-01 14856—95 | ЭРОА | См. табл. 3.15 | | | | |
| ПРОГРЕСС 15235—96 | УА | БК/кг | г<br>б<br>а | 0,03—3<br>0,15—4<br>2—8 | 3—$1 \cdot 10^4$<br>$5 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10^4$<br>$1 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10^4$ | 20—50 |
| СКС-50 15819—96 | А | Бк | г<br>б<br>а | 0,03—3<br>0,15—4<br>3—8 | $1 \cdot 10^2$—$1 \cdot 10^6$ | 10 |
| Гамма-плюс 15382—96 | УА | Бк/кг | г<br><br><br><br>б | Cs-137, Ra-226, Th-232, K-40<br><br><br><br>0,3—3 | <br><br><br>$5 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10^4$ | 10—50 |
| Радиометр РУГ 15333—96 | ОА | Бк/л | г | K-40, Cs-137, Ra-226, Th-23 | 10—1200 | 50 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| РРА-01М-01 16465—97 | См. табл. 3.16 | | | | | |
| Alpha GUARD PQ-2000-M 15107—96 | См. табл. 3.17 | | | | | |
| ГАММА-1С 15294—96 | Е | МэВ | г | 0,05—3 | 0,05—3 | 1 |
| УМФ-200 16297—97 | А | Бк | б<br>а | 0,15—4<br>3—8 | 0,01—1000 | 5—20 |

*Окончание табл. 3.13*

| Тип СИ, № в Госреестре — год занесения | Измеряемая величина* | Единица измерения | Вид излучения: г — гамма, б — бета, а — альфа | Диапазон энергий, МэВ (радионуклид) | Диапазон измерений | Основная погрешность, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| РБГ-08П<br>В стадии оформления | ОА | Бк/л | б<br>а | Благородные газы | $1—3{,}7 \cdot 10^4$ | 20—60 |
| РГА-06П<br>В стадии оформления | ОА<br>ЭРОА | Бк/м$^3$ | | Радон, торон | $5—4 \cdot 10^6$ | 30 |

* А — *активность*; УА — *удельная активность*; ОА — *объемная активность*; ЭРОА — *эквивалентная равновесная объемная активность радона*; Е — *энергия частицы*.

Таблица 3.14

**Приборы для массовых измерений интегральной объемной активности радона в воздухе с помощью пассивных детекторов**

| Характеристика прибора | Наименование прибора | | |
|---|---|---|---|
| | КСИРА-2010Z | ТРЭК-РЭИ-1 | КАМЕРА-РИ |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Номер в Госреестре | 14564—95 | В стадии оформления | В стадии оформления |
| Тип детектора | ДНЦ, LR-115 | ДНЦ, LR-115 | Активированный уголь |
| Диапазон, Бк · сут./м$^3$ | 200—60000 | 200—80000 | 50—50000 |
| Длительность экспонирования, сутки | С детектором: ДНЦ — 150 сут., LR-115 — до 180 сут. | С детектором: ДНЦ — 150 сут., LR-115 — до 180 сут. | 6 |
| Основная погрешность, % | ±25 | ±25 | ±30 |
| Масса блока детектирования, г | 50 | 35 | 17 |

*Окончание табл. 3.14*

| Характеристика прибора | Наименование прибора | | |
|---|---|---|---|
| | КСИРА-2010Z | ТРЭК-РЭИ-1 | КАМЕРА-РИ |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Дополнительные возможности | Автоматический счет до 50 детекторов; запись в ОЗУ, передача в ЭВМ; обеспечение расходными материалами | Хранение и анализ результатов измерений; «открытая комплектация»; поставка пробоотборных камер для почвенного радона и индивидуальных экспозиметров; обеспечение расходными материалами | См. табл. 3.18 |
| Состав комплекта | Минимальный набор: 500 пробоотборных камер, оборудование для обработки, расходные материалы | Базовый комплект: 100 пробоотборных камер, оборудование для обработки, база данных, набор расходных материалов для 400 измерений | См. табл. 3.18 |
| **Изготовитель** | **АО «Аквитон»** | АО «Радиационные и экологические исследования» | **НТЦ «Нитон»** |

Таблица 3.15

**Приборы для инспекционных измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона и торона в воздухе**

| Характеристика прибора | Наименование прибора | | |
|---|---|---|---|
| | РЭКС-АЛЬФА | RAMON-01 | КАМЕРА-РИ |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Номер в Госреестре | — | 14856-95 | В стадии оформления |
| Тип детектора | АФА-РСП3 | АФА-РСП20 | АФА-РСП3 |

*Окончание табл. 3.15*

| Характеристика прибора | Наименование прибора | | |
|---|---|---|---|
| | РЭКС-АЛЬФА | RAMON-01 | КАМЕРА-РИ |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Тип детектора | Полупроводниковый | Полупроводниковый | Полупроводниковый |
| Метод измерения | Суммарная регистрация альфа-частиц от аэрозольной пробы на фильтре | а) Альфа-спектрометрический (цикл 4 мин)<br>б) Метод Маркова-Рябова-Стася (цикл 15 мин) | Суммарная регистрация альфа-частиц от аэрозольной пробы на фильтре |
| Объемная скорость пробоотбора | 10 л/мин | 30 л/мин | 2 л/мин |
| Минимальное измеряемое значение ЭРОА, Бк/м$^3$<br>радон<br>торон | 5 | 4 | 1<br>0,2 |
| Общая продолжительность пробоотбора от автономного источника питания без подзарядки, ч (или колич. измер.) | 50 циклов измерений | 50 циклов измерений | 12 |
| Основная погрешность, % | ±30 | ±30 | ±15 |
| Масса носимого комплекта, кг | 7 | 4,5 | 4 |
| Дополнительные возможности | Поиск бета- и гамма-источников; измерение МЭД гамма-излучения | Измерение объемной активности торона; использование в качестве образцового средства измерений | См. табл. 3.18 |
| Изготовитель | АО «СНИИП-РД» | МЧП «СОЛО» | НТЦ «Нитон» |

Таблица 3.16

**Приборы для инспекционных измерений объемной активности радона в воздухе**

| Характеристика прибора | РРА-01М | РГГ-01Т | Камера-Р |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Номер в Госреестре | 14296—94 | — | В стадии оформления |
| Метод измерения и тип детектора | Электростатическое осаждение ДПР на поверхность ППД | Активная сорбция на активированном угле | Активная сорбция на активированном угле |
| Диапазон, Бк/м$^3$ | 20—20000 | 100—500000 | 20—500000 |
| Длительность одного измерения, мин | 10—99 | Отбор пробы — несколько минут | Отбор пробы — несколько мин |
| Основная погрешность, % | ±20 | ±30 | ±30 |
| Длительность непрерывной работы от автономного источника питания без подзарядки, ч | Не менее 10 | 12 | 12 |
| Масса носимого комплекта, кг | 4 | 6 | 4 |
| Дополнительные возможности | Измерение радона в воде при поставке в комплекте с пробоотборным устройством ПОУ-2 | | См. табл. 3.18 |
| Изготовитель | МТМ-Защита | НИИ ПММ | НТЦ «Нитон» |

Таблица 3.17

**Приборы для автоматических непрерывных измерений объемной активности радона**

| Характеристика прибора | Alpha-GUARD mod. PQ2000 |
|---|---|
| Номер в Госреестре | 14157—94 |
| Тип детектора | Импульсная ионизационная камера |
| Метод пробоотбора | Пассивный (основной) и активный |
| Диапазон измерений, Бк/м$^3$ | 10—2000000 |

*Окончание табл. 3.17*

| Характеристика прибора | Alpha-GUARD mod. PQ2000 |
|---|---|
| Минимальная продолжительность одного измерения, мин: | |
| на уровне минимальных измеряемых значений (МИЗ): | 21 час при погрешности ±10%<br>2,1 час при погрешности ±20% |
| на уровне 10-кратных МИЗ: | 2,1 при погрешности ±10%<br>0,5 часа при погрешности ±20% |
| Дополнительные возможности | Запись в ОЗУ нескольких десятков 12-суточных рядов, измерение температуры, влажности и давления, программное обеспечение |
| **Изготовитель** | Genitron Instruments GmbH |

Таблица 3.18

**Многофункциональный комплекс аппаратуры для мониторинга естественных радионуклидов в производственных условиях, жилищах и окружающей среде («КАМЕРА»)**

| Технические характеристики | Базовый комплект | | |
|---|---|---|---|
| | Полный комплект | Для стационарных условий | Для полевых условий |
| ***А. Минимально измеряемые значения с основной погрешностью не более 30 % при аппаратурном времени измерения не более 60 мин:*** | | | |
| средняя за 1—6 суток ОА радона в воздухе, Бк/м$^3$ | 10 | 10 | 25 |
| ОА радона в пробах воздуха, Бк/м$^3$ | 5 | 5 | 20 |
| средняя за 1—10 ч плотность потока (эксхаляция) радона с поверхности земли и строительных конструкций, мБк/с · м$^2$ | 1 | 1 | 3 |
| ОА радона в пробах почвенного воздуха объемом 0,2—1 л, кБк/м$^3$ | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| ОА радона и радия в пробах воды, Бк/кг | 0,06 | 0,06 | 0,2 |
| ЭРОА в пробах воздуха дочерних продуктов, Бк/м$^3$: | | | |
| радона | 1 | — | 1 |
| торона | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| ОА долгоживущих альфа-активных радионуклидов в пробах воздуха, Бк/м$^3$ | 10 | — | 20 |

*Продолжение табл. 3.18*

| Технические характеристики | Базовый комплект | | |
|---|---|---|---|
| | Полный комплект | Для стационарных условий | Для полевых условий |
| ОА в пробах материалов объемом до 1 л, Бк/л | | | |
| радия-226, тория-232 | 10 | 10 | — |
| калия-40 | 50 | 50 | — |
| мощность эквивалентной дозы внешнего излучения (при времени одного измерения не менее 0,5 мин), мкЗв/ч | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| ***Дополнительные возможности:*** | | | |
| определение эманирующей способности и радонопроницаемости горных пород и строительных материалов | + | + | + |
| измерение плотности потока бета-частиц | + | + | + |
| определение содержания Cs-137 и других гамма-излучателей в пробах материалов | + | — | — |
| градуировка и поверка радиометров радона всех типов | + | — | — |
| ***Б. Состав комплекта и технические характеристики основных узлов:*** | | | |
| устройство для многоканального счета импульсов и обработки результатов измерений (на базе ПЭВМ) стационарное, переносное | 1 | 1 | — |
| сцинтилляционный блок детектирования гамма-излучения в свинцовой защите | 1 | 1 | — |
| 5-канальный носимый измерительный пульт с автономным и сетевым питанием | 1 | 1 | — |
| блок детектирования бета-излучения сорбента | 5 | 5 | 5 |
| сцинтилляционный блок детектирования альфа-излучения | 1 | — | — |
| блок детектирования гамма-излучения | 1 | — | 1 |
| сорбционная колонка | 200 | 200 | 200 |
| накопительная камера для измерения эксхаляции радона | 50 | 30 | 30 |
| автоматизированное устройство с автономным и сетевым питанием для отбора проб воздуха | 2 | 1 | 1 |

*Окончание табл. 3.18*

| Технические характеристики | Базовый комплект | | |
|---|---|---|---|
| | Полный комплект | Для стационарных условий | Для полевых условий |
| комплект механических приспособлений для отбора проб атмосферного и почвенного воздуха | 1 | 1 | 1 |
| комплект аккумуляторных и сетевых блоков питания и зарядных устройств | 2 | 2 | 2 |
| комплект устройств для измерения объемной активности радона в пробах воды, определения эманирующей способности и радонопроницаемости материалов | 1 | 1 | 1 |
| стенд (проточная радоновая камера) для метрологического сопровождения интегральных измерений и контрольных измерений | 1 | — | — |
| комплект контрольных источников излучения | 1 | 1 | 1 |
| радонозащитный бокс для снижения фона при измерении альфа-активности фильтров | 1 | — | — |
| устройство для регенерации активированного угля | 1 | 1 | 1 |

Кроме перечисленных в таблицах приборов, были разработаны так называемые бытовые дозиметры. Это специфический класс приборов, которые разрабатывались с целью обеспечения возможности контроля повышенного уровня радиации населением после аварии на ЧАЭС. Дозиметры разрабатывались и выпускались в соответствии со специально разработанным документом «Положение о метрологическом статусе, порядке разработки, постановке на производство и поверке дозиметрических и радиометрических приборов для населения». В соответствии с этим положением результаты измерений этими приборами не могут использоваться для официальных заключений о радиационной обстановке и степени радиоактивного загрязнения. Большинство выпускаемых бытовых дозиметров указано в табл. 3.19.

Таблица 3.19

**Средства измерений ионизирующих излучений ( бытовые дозиметры)**

| Тип СИ, № в Госреестре — год занесения | Измеряемая величина | Единица измерения | Наличие индикации бета-излучения | Диапазон энергий гамма-излучения, МэВ | Диапазон измерений | Основная погрешность, % | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| РОСЬ 12515—90 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—1,25 | 0,1—28 | 30 | Индикация: световая и звуковая |
| БЕЛЛА 12483—90 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,05—1,25 | 0,2—100 | 30—50 | |
| ИРД-02Б 12422—90 | МЭквД<br>УА* | мкЗв/ч<br>Бк/кг | — | 0,05—1,25 | 0,1—20<br>$10^4$—$2 \cdot 10^6$ | 30—50 | |
| ДОН-01 12421—90 | МЭквД | мкЗв/ч | + | 0,06—3 | 0,1—100 | 25—40 | |
| ЛАДОГА 12416—90 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—3 | 0,1—10 | 50 | Индикация стрелочная, звуковая |
| НЕВСКИЙ 12362—90 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—3 | 0,1—10 | 50 | То же |
| ПОИСК-2 12354—90 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—1,25 | 0,1—150 | 40 | Индикация световая |
| ПАЛЕССЕ ДБГБ-01К 12352—90 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—3 | 0,1—12 | 25—50 | |
| АНРИ-01 СОСНА 12305—90 | МЭквД | мкЗв/ч | + | 0,06—1,25 | 0,1—100 | 30—50 | |
| МАСТЕР-1 12295—90 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,05—1,25 | 0,1—100 | 30—50 | |
| РАТОН-01 12244—90 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,1—3 | 0,1—100 | 25—50 | |
| СИМ-05 12708—91 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—1,25 | 0,04—100 | 35—60 | |

*Окончание табл. 3.19*

| Тип СИ, № в Госреестре — год занесения | Измеряемая величина | Единица измерения | Наличие индикации бета-излучения | Диапазон энергий гамма-излучения, МэВ | Диапазон измерений | Основная погрешность, % | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ДБГБ-01 РЕНТГЕН 12725—91 | МЭквД<br>УА | мкЗв/ч<br>$с^{-1}см^{-2}$ | + | 0,05—3 | 0,1—100<br>$6 \cdot 10^3$—$10^6$ | 40<br>50 | |
| ДБГБ-250 Орион-01 12822—91 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,05—3 | 0,1—100 | 40 | |
| ДБГБ Бинар 12824—91 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—1,25 | 0,1—100 | 25—50 | |
| ДБГБ-07Б 12825—91 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,1—1,25 | 0,1—500 | 30—50 | |
| ДБГБ Фотон 12826—91 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—1,25 | 0,1—100 | 20—50 | |
| ДБГБ-01 Лотта 12827—91 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—1,25 | 0,1—100 | 35—50 | |
| ДКС-01БЗ 12925—91 | МЭквД | мкЗв/ч | + | 0,06—1,25 | 0,1—100 | 30—50 | |
| ДБГБ-04А Байкал 12926—91 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—1,25 | 0,1—100 | 15—50 | |
| ДРГБ-01 Сигнал 12979—91 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,05—1,25 | 0,1—100 | 30—50 | |
| ДРГБ-01 «ЭКО-1» 13647—96 | МЭквД | мкЗв/ч | — | | | | |
| Мастер-2 14235—94 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—1,25 | 0,1—10 | 20—50 | |
| РМ1203 14960—95 | МЭквД | мкЗв/ч | — | 0,06—1,25 | 0,1—23 | 20—50 | Совмещен с часами |

* УА — удельная активность. Чувствительность бытовых дозиметров позволяет измерять удельную активность только очень сильно загрязненных продуктов.

Разработка новых средств измерений в сфере контроля радиационной безопасности в основном связана с появлением новой элементной базы, в частности, микропроцессорной техники в устройствах обработки информации с блоков детектирования, что дает возможность совершенствовать средства измерений в следующих направлениях:

создание многофункциональных средств измерений (разработка универсальных дозиметров-радиометров для измерения нескольких величин);

применение блоков детектирования, позволяющих использовать информацию о спектральных характеристиках излучения для получения значений величин, наиболее адекватных нормируемым величинам.

Для обеспечения допустимой погрешности результатов измерений контролируемых параметров с использованием рабочих средств измерений в реальных условиях разрабатывают и применяют методики выполнения измерений [19, 23—26].

## 3.6. Метрологическое обеспечение измерений ионизирующих излучений

### 3.6.1. Подходы к государственному метрологическому контролю в сфере обеспечения радиационной безопасности

Основу системы метрологического обеспечения измерений ионизирующих излучений в России составляют государственные первичные и специальные эталоны, перечисленные в табл. 3.20.

Таблица 3.20

**Государственные эталоны в области измерений ионизирующих излучений**

| Наименование эталона | Номер по Реестру | Институт — хранитель эталона |
|---|---|---|
| Государственный первичный эталон единицы активности радионуклидов | ГЭТ 6 | ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» |
| Государственный специальный эталон единицы массы радия | ГЭТ 7 | ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» |
| Государственный первичный эталон единиц экспозиционной дозы, мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений и потока энергии рентгеновского излучения | ГЭТ 8 | ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» |

*Продолжение табл. 3.20*

| Наименование эталона | Номер по Реестру | Институт — хранитель эталона |
|---|---|---|
| Государственный первичный эталон единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы бета-излучения | ГЭТ 9 | ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» |
| Государственный первичный эталон единиц потока и плотности потока нейтронов | ГЭТ 10 | ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» |
| Государственный специальный эталон единицы бета-излучающих нуклидов в газах | ГЭТ 20 | ФГУП «ВНИИФТРИ» |
| Государственный первичный эталон единиц мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучений | ГЭТ 38 | ФГУП «ВНИИФТРИ» |
| Государственный специальный эталон единицы объемной активности радиоактивных аэрозолей | ГЭТ 39 | ФГУП «ВНИИФТРИ» |
| Государственный специальный эталон единиц плотности потока нейтронов и флюенса нейтронов для ядерно-физических установок | ГЭТ 51 | ФГУП «ВНИИФТРИ» |
| Государственный специальный эталон единицы потока энергии тормозного излучения с максимальной энергией фотонов от 0,8 до 8,0 пДж (от 5 до 50 МэВ) | ГЭТ 72 | ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» |
| Государственный специальный эталон единицы поглощенной дозы рентгеновского излучения с максимальной энергией фотонов от 3 до 9 фДж (от 20 до 60 кэВ) | ГЭТ 73 | ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» |
| Государственный первичный эталон единиц потока электронов и потока энергии электронов с энергией от 0,8 до 8,0 пДж (от 5 до 50 МэВ) | ГЭТ 93 | ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» |
| Государственный первичный эталон единиц мощности поглощенной и эквивалентной доз нейтронного излучения | ГЭТ 117 | ФГУП «ВНИИФТРИ» |
| Государственный специальный эталон единиц экспозиционной дозы, мощности экспозиционной дозы, потока энергии и плотности потока энергии импульсного рентгеновского излучения | ГЭТ 134 | ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» |

В соответствии с Законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» государственный метрологический контроль и надзор, осуществляемый с целью проверки соблюдения метрологических правил и норм, распространяются, в частности, на здравоохранение, охрану окружающей среды, обеспечение безопасности труда. В соответствии с этим законом в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора средства измерений подвергаются обязательным испытаниям с последующим утверждением типа средств измерений [12].

Испытания средств измерений для целей утверждения их типа проводятся государственными научными метрологическими центрами Госстандарта России, аккредитованными в качестве государственных центров испытаний средств измерений. Решение об утверждении типа средств измерений принимается Госстандартом России и удостоверяется сертификатом об утверждении типа средств измерений.

Средства измерений, используемые в сфере государственного метрологического контроля и надзора, подвергаются обязательной поверке органами Государственной метрологической службы [18]. По решению Госстандарта России право поверки средств измерений может быть предоставлено аккредитованным метрологическим службам юридических лиц. Деятельность этих метрологических служб осуществляется в соответствии с действующим законодательством и нормативными документами по обеспечению единства измерений. Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений определяется правилами по метрологии [13].

Проблемы поверки средств измерений, используемых в сфере контроля радиационной безопасности, связаны с тем, что нормируемые и операционные величины отличаются от величин, единицы которых воспроизводятся на государственных первичных эталонах. Кроме того, как правило, условия поверки средства измерений и условия применения на практике рабочего средства измерений не совпадают. Поэтому утверждение типа средства измерений и последующая поверка средств измерений не решают в полной мере задачи обеспечения достоверности измерений на практике. Важное значение в этом случае приобретают разработка и использование специфических методик выполнения измерений с применением конкретных средств измерений.

В процессе метрологического контроля можно выделить ряд составляющих элементов: выбор контролируемых параметров, регламент проведения контроля, средства измерений, поверка средств измерений, методики выполнения измерений, оценка результатов

измерений и их интерпретация. Каждый из составляющих элементов содержит свои специфические источники погрешности. Кроме того, контролю присущи субъективные ошибки, в существенной степени связанные с квалификацией персонала и условиями проведения контроля. Только комплексное (совместное и взаимосвязанное) рассмотрение и согласование этих элементов в конкретной лаборатории создает предпосылки для достижения требуемой достоверности результатов измерений.

Эту цель преследует аккредитация специальных лабораторий радиационного контроля (ЛРК), предназначенных для проведения испытаний на радиационную безопасность продукции и объектов окружающей среды.

### 3.6.2. Основные средства и методы поверки средств измерений радиационного контроля

Поверка средств измерений осуществляется в соответствии с методиками поверки, утверждаемыми либо в виде отдельных нормативных документов [20—22], либо в виде раздела в составе эксплуатационной документации на соответствующее средство измерений. При поверке используются эталоны, поверенные в единицах соответствующих операционных величин.

Основные эталоны, используемые при поверке рабочих средств измерений, перечислены в табл. 3.21.

Таблица 3.21

**Основные средства поверки (эталоны) и условия поверки средств измерений**

| Средства измерений | Измеряемая величина | Поверочная установка, источники (эталоны) | Вид излучения | Энергия излучения, радионуклид (источник) | Метод поверки эталона* | Совпадение геометрии поверки и геометрии измерений рабочими средствами измерений в реальных условиях |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Дозиметры | Доза, мощность дозы | УПГД-2, УПД | гамма | Cs-137, Co-60 | НС | (Да), (нет) |
| | | «Интер», | гамма | Cs-137 | НС | (Да), (нет) |
| | | УПГД-3А | гамма | Cs-137 | НС | (Да), (нет) |
| | | УПГД-3Б | гамма | Cs-137 | НС | (Да), (нет) |
| | | УПГД-3В | гамма | Cs-137 | ГК | (Нет) |
| | | УПГД-3Г | гамма | Cs-137 | ГК | (Нет) |
| | | СПГ-04-02 | гамма | Cs-137 | ГК | (Нет) |
| | | УПДП-1-5 | гамма | Cs-137 | ГК | (Нет) |

*Окончание табл. 3.21*

| Средства измерений | Измеряемая величина | Поверочная установка, источники (эталоны) | Вид излучения | Энергия излучения, радионуклид (источник) | Метод поверки эталона* | Совпадение геометрии поверки и геометрии измерений рабочими средствами измерений в реальных условиях |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Дозиметры | Доза, мощность | КИС-НРД-МБМ | гамма | Cs-137, Co-60 | НС | (Да, (нет) |
| | | | нейтроны | Pu-Be | НС | (Да, (нет) |
| | | УКПН-1М | нейтроны | Pu-Be | НС | (Да, (нет) |
| Радиометры | Активность | Плоские и объемные источники | гамма, бета, альфа | Набор радионуклидов | НС | (Да) |
| | Удельная активность | Объемные источники | То же | То же | НС | (Да) |
| | Объемная активность | То же | » | » | НС | (Да) |
| | Объемная активность радона | Плоские источники | альфа | Ra-226 | ГК | (Да) |
| | | Радоновая камера | альфа | Rn-222 | НС | (Да), (нет) |
| | Плотность потока | Плоские источники | альфа, | Pu-238, 239 U-234, 238 Am-241 | НС | (Да), (нет) |
| | | | бета | Sr-90 | НС | (Да), (нет) |
| Спектрометры | Энергия частиц | Плоские источники | альфа | набор ОСАИ | НС | (Да) |
| | | | гамма | набор ОСГИ | НС | (Да) |

* НС — непосредственное сличение, ГК — метод группового компаратора.

### 3.6.3. Система аккредитации лабораторий радиационного контроля

В России с 1993 года функционирует система аккредитации лабораторий радиационного контроля (САРК). Аккредитация проводится в соответствии с нормативным документом «Государственная система обеспечения единства измерений. Критерии и порядок аккреди-

тации лабораторий радиационного контроля». САРК постоянно развивается и совершенствуется. Утверждены ПР 50.2.030—2001 «Система аккредитации лабораторий радиационного контроля. Основные положения». Существенным обстоятельством является то, что аккредитация ЛРК — это не одноразовый акт подтверждения компетентности данной лаборатории, а процесс постоянного контроля деятельности аккредитованной ЛРК и совершенствования процесса измерений (испытаний) в лаборатории в области аккредитации под руководством аккредитовавшего ее органа.

Критериями аккредитации ЛРК являются:

наличие условий, обеспечивающих техническую компетентность лаборатории, и их соответствие государственной системе обеспечения единства измерений (ГСИ);

положительные результаты экспериментальной проверки технической компетентности лаборатории.

Условиями, обеспечивающими техническую компетентность лаборатории, являются:

наличие оборудования (средств измерений и вспомогательного), необходимого для выполнения измерений (испытаний) в заявленной области, или наличие свободного доступа к такому оборудованию;

наличие методик, инструкций и других документов* (методик выполнения измерений, методик отбора и подготовки проб, норм и требований на продукцию и др.), необходимых для выполнения заявленных испытаний;

наличие достаточного по количеству и квалификации персонала;

наличие внутренней системы гарантий обеспечения достоверности и контроля качества измерений (испытаний).

Экспериментальная проверка осуществляется применительно к приоритетным направлениям деятельности лаборатории в диапазоне типичных значений определяемых параметров посредством выполнения лабораторией испытаний контрольных проб, задаваемых аккредитующим органом.

Завершающим этапом аккредитации является выдача соответствующего аттестата аккредитованной лаборатории. После аккредитации ЛРК имеет право:

выполнять испытания для целей сертификации продукции и объектов окружающей среды и выдавать сертификаты установленного образца;

проводить арбитражные измерения;

принимать участие в испытаниях (измерениях) продукции и объектов окружающей среды, по результатам которых могут применяться санкции.

---

* Нормативно-методические документы должны соответствовать области аккредитации ЛРК . Документы [1, 5, 7, 35, 37, 38, 19, 23, 24, 25, 30, 49] могут служить примерным перечнем документов, необходимых для наиболее часто встречающихся областей аккредитации.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.1

**Значения дозовых коэффициентов, пределов годового поступления с воздухом и пищей, допустимой объемной активности во вдыхаемом воздухе и уровней вмешательства при поступлении с водой отдельных радионуклидов для населения[1]**

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м³ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| H-3 | 12,3 лет | | #2 | 2,7—10 | 3,7+6 | 1,9+3 | [3] | #2 | 4,8—11 | 2,1+7 | 7,7+3 |
| | | | | | | | [4] | #2 | 1,2—10 | 8,3+6 | 3,3+3 |
| Be-7 | 53,3 сут | | #4 | 9,6—11 | 1,0+7 | 2,0+3 | | #2 | 1,3—10 | 7,7+6 | 5,0+3 |
| Be-10 | 1,60+6 лет | | #6 | 3,5—8 | 2,9+4 | 3,5 | | #2 | 8,0—9 | 1,3+5 | 1,3+2 |
| C-14 | 5,73+3 лет | | #5 | 2,5—9 | 4,0+5 | 5,5+1 | | #2 | 1,6—9 | 6,3+5 | 2,4+2 |
| Na-22 | 2,60 лет | | #2 | 7,3—9 | 1,4+5 | 7,2+1 | | #2 | 1,5—8 | 6,7+4 | 4,3+1 |
| Al-26 | 7,16+5 лет | | #6 | 2,0—8 | 5,0+4 | 6,2 | | #2 | 2,1—8 | 4,8+4 | 4,0+1 |
| Si-32 | 4,50+2 лет | | #6 | 1,1—7 | 9,1+3 | 1,1 | | #2 | 4,1—9 | 24+5 | 2,5+2 |
| P-32 | 14,3 сут | | #5 | 4,0—9 | 2,5+5 | 34+1 | | #2 | 1,9—8 | 5,3+4 | 5,8+1 |
| P-33 | 25,4 сут | | #5 | 1,9—9 | 5,3+5 | 7,2+1 | | #2 | 18—9 | 5,6+5 | 5,8+2 |
| S-35 | 87,4 сут | | #5 | 1,8—9 | 5,6+5 | 7,6+1 | [5] | #2 | 8,7—10 | 1,1+6 | 1,1+3 |
| | | | | | | | [6] | #2 | 5,4—9 | 1,9+5 | 1,8+2 |
| Cl-36 | 3,01+5 лет | | #5 | 8,8—9 | 1,1+5 | 1,6+1 | | #2 | 6,3—9 | 1,6+5 | 1,5+2 |
| K-40[7] | 1,28+9 лет | | #2 | 1,7—8 | 5,9+4 | 3,1 + 1 | | #2 | 4,2—8 | 2,4+4 | 2,2+1 |
| Ca-41 | 1 ,40+5 лет | | #5 | 3,3—10 | 3,0+6 | 4,2+2 | | #5 | 5,0—10 | 2,0+6 | 7,3+2 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух ПГП$_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность ДОА$_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища ПГП$_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Ca-45 | 163 сут | #5 | 4,6—9 | 2,2+5 | 3,0+1 | #2 | 4,9—9 | 2,0+5 | 2,0+2 |
| Ca-41 | 4,53 сут | #5 | 2,6—9 | 3,8+5 | 5,3+1 | #2 | 9,3—9 | 1,1+5 | 8,7+1 |
| Sc-44m | 2,44 сут | *#2* | 8,4—9 | 1,2+5 | 6,3+1 | #2 | 1,6—8 | 6,3+4 | 5,8+1 |
| Sc-46 | 83,8 сут | *#5* | 8,4—9 | 1,2+5 | 1,6+1 | *#2* | 7,9—9 | 1,3+5 | 9,3+1 |
| Sc-47 | 3,35 сут | *#5* | 9,2—10 | 1,1+6 | 1,5+2 | *#2* | 3,9—9 | 2,6+5 | 2,6+2 |
| Sc-48 | 1,82 сут | *#2* | 5,9—9 | 1,7+5 | 8,9+1 | *#2* | 9,3—9 | 1,1+5 | 8,2+1 |
| Ti-44 | 47,3 лет | *#6* | 1,2—7 | 8,3+3 | 1,0 | #2 | 3,1—8 | 3,2+4 | 2,4+1 |
| V-48 | 16,2 сут | #4 | 4,3—9 | 2,3+5 | 4,5+1 | #2 | 1,1—8 | 9,1+4 | 6,9+1 |
| V-49 | 330 сут | #2 | 2,1—10 | 4,8+6 | 2,5+3 | #2 | 1,4—10 | 7,1+6 | 7,7+3 |
| Cr-51 | 27,7 сут | *#2* | 2,1—10 | 4,8+6 | 2,5+3 | #2 | 2,3—10 | 4,3+6 | 3,7+3 |
| Mn-52 | 5,59 сут | #2 | 6,8—9 | 1,5+5 | 7,7+1 | *#2* | 8,8—9 | 1,1+5 | 7,7+1 |
| Mn-53 | 3,70+6 лет | #2 | 3,4—10 | 2,9+6 | 1,5+3 | *#2* | 2,2—10 | 4,5+6 | 4,6+3 |
| Mn-54 | 312 сут | *#5* | 1,9—9 | 5,3+5 | 72+1 | #2 | 3,1—9 | 3,2+5 | 2,0+2 |
| Fe-55 | 2,70 лет | #4 | 6,2—10 | 1,6+6 | 3,1+2 | #2 | 2,4—9 | 4,2+5 | 4,2+2 |
| Fe-59 | 44,5 сут | *#5* | 4,6—9 | 2,2+5 | 3,0+1 | #2 | 1,3—8 | 7,7+4 | 7,7+1 |
| Fe-60 | 1,00+5 лет | *#6* | 1,4—7 | 7,1+3 | 8,8-1 | #5 | 2,3—7 | 4,3+3 | 1,3 |
| Co-56 | 78,7 сут | *#5* | 5,8—9 | 1,7+5 | 2,4+1 | #2 | 1,5—8 | 6,7+4 | 5,6+1 |
| Co-57 | 271 сут | #5 | 6,7—10 | 1,5+6 | 2,0+2 | #2 | 1,6—9 | 6,3+5 | 6,6+2 |
| Co-58 | 70 8 сут | #5 | 2,0—9 | 5,0+5 | 6,8+1 | #2 | 4,4—9 | 2,3+5 | 1,9+2 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Co-60 | 5,27 лет | | #5 | 1,2—8 | 8,3+4 | 1,1+1 | | #2 | 2,7—8 | 3,7+4 | 4,1+1 |
| Ni-56 | 6,10 сут | | #5 | 1,1—9 | 9,1+5 | 1,2+2 | | #2 | 4,0—9 | 2,5+5 | 1,6+2 |
| Ni-57 | 150 сут | | *#2* | 2,8—9 | 3,6+5 | 1,9+2 | | #2 | 4,9—9 | 2,0+5 | 1,6+2 |
| Ni-59 | 7,50 +4 лет | | #2 | 6,2—10 | 1,6+6 | 8,5+2 | | #2 | 3,4—10 | 2,9+6 | 2,2+3 |
| Ni-63 | 96,0 лет | | #6 | 4,8—10 | 2,1+6 | 2,6+2 | | *#2* | 8,4—10 | 1,2+6 | 9,3+2 |
| Ni-66 | 2,27 сут | | #2 | 9,4—9 | 11+5 | 5,6+1 | | #2 | 2,2—8 | 4,5+4 | 4,6+1 |
| Cu-67 | 2,58 сут | | #5 | 7,7—10 | 1,3+6 | 1,8+2 | | #2 | 2,4—9 | 42+5 | 4,1+2 |
| Zn-65 | 244 сут | | #5 | 1,9—9 | 5,3+5 | 7,2+1 | | #2 | 1,6—8 | 6,3+4 | 3,6+1 |
| Zn-72 | 1,94 сут | | #2 | 6,5—9 | 1,5+5 | 8,1+1 | | #2 | 8,6—9 | 1,2+5 | 99+1 |
| Ga-67 | 3,26 сут | | #5 | 3,0—10 | 3,3+6 | 4,6+2 | | #2 | 1,2—9 | 8,3+5 | 7,3+2 |
| Ge-68 | 288 сут | | *#5* | 1,6—8 | 6,3+4 | 8,6 | | *#2* | 8,0—9 | 1,3+5 | 1,1+2 |
| Ge-69 | 1,63 сут | | *#2* | 1,4—9 | 7,1-5 | 3,8+2 | | #2 | 1,3—9 | 7,7+5 | 5,8+2 |
| Ge-71 | 11,8 сут | | #2 | 8,6—11 | 1,2+7 | 6,1+3 | | *#2* | 7,8—13 | 1,3+7 | 1,2+4 |
| As-71 | 2,70 сут | | #5 | 5,0—10 | 2,0+0 | 2,7+3 | | *#2* | 2,8—9 | 3,6+5 | 3,0+2 |
| Zr-93 | 1,53+6 лет | | #6 | 1,0—8 | 1,0+5 | 1,2+1 | | #6 | 1,1—9 | 9,1+5 | 1,3+2 |
| Zr-95 | 64,0 сут | | #5 | 5,9—9 | 1,7+5 | 2,3+1 | | *#2* | 5,6—9 | 1,8+5 | 1,5+2 |
| Nb-93m | 13,6 лет | | *#2* | 2,4—9 | 4,2+5 | 2,2+2 | | *#2* | 9,1—10 | 1,1+6 | 1,2+3 |
| Nb-94 | 2,03+4 лет | | *#5* | 1,3—8 | 7,7+4 | 1,1+1 | | #2 | 9,7—9 | 1,0+5 | 8,2+1 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух ПГП$_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность ДОА$_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища ПГП$_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Nb-95 | 35,1 сут | | #5 | 1,9—9 | 5,3+5 | 7,2+1 | | #2 | 3,2—9 | 3,1+5 | 2,4+2 |
| Nb-95m | 3,61 сут | | #5 | 1,0—9 | 1,0+6 | 1,4+2 | | #2 | 4,1—9 | 2,4+5 | 2,5+2 |
| Mo-93 | 3,50+3 лет | | #5 | 6,6—10 | 1,5+6 | 2,1+2 | | #2 | 6,9—9 | 1,4+5 | 4,5+1 |
| Mo-99 | 2,75 сут | | #2 | 4,4—9 | 2,3+5 | 1,2+2 | | #2 | 3,5—9 | 2,9+5 | 2,3+2 |
| Tc-95m | 61,0 сут | | #5 | 1,1—9 | 9,1+5 | 1,2+2 | | #2 | 2,8—9 | 3,6+5 | 2,5+2 |
| Tc-96 | 4,28 сут | | #2 | 3,9—9 | 2,6+5 | 1,3+2 | | #2 | 5,1—9 | 2,0+5 | 1,3+2 |
| Tc-97 | 2,60+6 лет | | #5 | 2,8—10 | 3,6+6 | 4,9+2 | | #2 | 4,9—10 | 2,0+6 | 2,0+3 |
| Tc-97m | 87,0 сут | | #5 | 4,1—9 | 2,4+5 | 3,3+1 | | #2 | 4,1—9 | 2,4+5 | 2,5+2 |
| Tc-98 | 4,20+6 лет | | #5 | 1,0—8 | 1,0+5 | 1,4+1 | | #2 | 1,2—8 | 8,3+4 | 6,9+1 |
| Tc-99 | 2,13+5 лет | | #5 | 5,0—9 | 2,0+5 | 2,7+1 | | #2 | 4,8—9 | 2,1+5 | 2,2+2 |
| Ru-97 | 2,90 сут | | #2 | 6,1—10 | 1,6+6 | 8,6+2 | | #2 | 8,5—10 | 1,2+6 | 9,3+2 |
| Ru-103 | 39,3 сут | | #5 | 3,0—9 | 3,3+5 | 4,6+1 | | #2 | 4,6—9 | 2,2+5 | 1,9+2 |
| Ru-106 | 1,01 лет | | #6 | 2,8—8 | 3,6+4 | 4,4 | | #2 | 4,9—8 | 2,0+4 | 2,0+1 |
| Rh-99 | 16,0 сут | | #5 | 1,1—9 | 9,1+5 | 1,2+2 | | #2 | 2,9—9 | 3,4+5 | 2,7+2 |
| Rh-101 | 3,20 лет | | #5 | 6,2—9 | 1,6+5 | 2,2+1 | | #2 | 2,8—9 | 3,6+5 | 2,5+2 |
| Rh-101m | 4,34 сут | | #5 | 2,7—10 | 3,7+6 | 5,1+2 | | #2 | 1,2—9 | 8,3+5 | 6,3+2 |
| Rh-102 | 2,90 лет | | #5 | 2,0—8 | 50+4 | 6,8 | | #2 | 1,0—8 | 1,0+5 | 5,3+1 |
| Rh-102m | 207 сут | | #5 | 8,2—9 | 1,2+5 | 1,7+1 | | #2 | 7,4—9 | 1,4+5 | 1,2+2 |
| Rh-105 | 1,47 сут | | #5 | 4,5—10 | 2,2+6 | 3,0+2 | | #2 | 2,7—9 | 3,7+5 | 3,8+2 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| As-72 | 1,08 сут | *#2* | 5,7—9 | 1,8+5 | 9,2+1 | | *#2* | 1,2—8 | 8,3+4 | 7,7+1 |
| As-73 | 80,3 сут | *#5* | 1,2—9 | 8,3+5 | 1,1+2 | | *#2* | 1,9—9 | 5,3+5 | 5,3+2 |
| As-74 | 17,8сут | *#5* | 2,6—9 | 3,8+5 | 5,3+1 | | #2 | 8,2—9 | 1,2+5 | 1,1+2 |
| As-76 | 1,10 сут | *#2* | 4,6—9 | 2,2+5 | 1,1+2 | | *#2* | 1,1—8 | 9,1+4 | 8,7+1 |
| As-77 | 1,62 сут | *#5* | 5,0—10 | 2,0+6 | 2,7+2 | | *#2* | 2,9—9 | 3,4+5 | 3,5+2 |
| Se-75 | 120 сут | *#4* | 2,5—9 | 4,0+5 | 7,7+1 | | *#2* | 1,3—8 | 7,7+4 | 5,3+1 |
| Se-79 | 6,50+4 лет | *#4* | 5,6—9 | 1,8+5 | 3,4+1 | | *#2* | 2,8—8 | 3,6+4 | 4,8+1 |
| Br-77 | 2,33 сут | #2 | 5,1—10 | 2,0+6 | 1,0+3 | | *#2* | 4,4—10 | 2,3+6 | 1,4+3 |
| Br-82 | 1,47 сут | #5 | 7,9—10 | 1,3+6 | 1,7+2 | | *#2* | 2,6—9 | 3,8+5 | 2,6+2 |
| Rb-83 | 86,2 сут | *#2* | 3,8—9 | 2,6+5 | 1,4+2 | | *#2* | 8,4—9 | 1,2+5 | 7,3+1 |
| Rb-84 | 32,8 сут | *#2* | 6,4—9 | 1,6+5 | 8,2+1 | | *#2* | 1,4—8 | 7,1+4 | 5,0+1 |
| Rb-86 | 18,7 сут | *#2* | 7,7—9 | 1,3+5 | 6,8+1 | | *#2* | 2,0—8 | 5,0+4 | 5,0+1 |
| Sr-82 | 25,0 сут | *#2* | 4,0—8 | 2,5+4 | 1,3+1 | | #2 | 4,1—8 | 2,4+4 | 2,3+1 |
| Sr-83 | 1,35 сут | *#2* | 1,9—9 | 5,3+5 | 2,8+2 | | #2 | 2,7—9 | 3,7+5 | 2,8+2 |
| Sr-85 | 64,8 сут | *#5* | 8,8—10 | 1,1+6 | 1,6+2 | | #2 | 3,1—9 | 3,2+5 | 2,5+2 |
| Sr-89 | 50,5 сут | *#5* | 7,3—9 | 1,4+5 | 1,9+1 | | *#2* | 1,8—8 | 5,6+4 | 5,3+1 |
| Sr-90 | 29,1 лет | *#5* | 5,0—8 | 2,0+4 | 2,7 | | *#5* | 8,0—8 | 1,3+4 | 5,0 |
| Y-87 | 3,35 сут | *#2* | 2,2—9 | 4,5+5 | 2,4+2 | | *#2* | 3,2—9 | 3,1+5 | 2,5+2 |
| Y-88 | 107 сут | *#5* | 5,4—9 | 1,9+5 | 2,5+1 | | *#2* | 6,0—9 | 1,7+5 | 1,1+2 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Y-90 | 2,67 сут | *#2* | 8,8—9 | 1,1+5 | 6,0+1 | *#2* | 2,0—8 | 5,0+4 | 5,1+1 |
| Y-91 | 58,5 сут | #5 | 1,0—8 | 1,0+5 | 1,4+1 | *#2* | 1,8—8 | 5,6+4 | 5,8+1 |
| Zr-88 | 83,4 сут | *#5* | 3,0—9 | 3,3+5 | 4,6+1 | *#2* | 2,0—9 | 5,0+5 | 3,1+2 |
| Zr-89 | 3,27 сут | *#2* | 2,8—9 | 3,6+5 | 1,9+2 | #2 | 4,5—9 | 2,2+5 | 1,8+2 |
| Pd-100 | 3,63 сут | #4 | 1,5—9 | 6,7+5 | 1,3+2 | #2 | 5,2—9 | 1,9+5 | 1,5+2 |
| Pd-103 | 17,0 сут | *#5* | 5,3—10 | 1,9+6 | 2,6+2 | #2 | 1,4—9 | 7,1+5 | 7,3+2 |
| Pd-107 | 6,50+6 лет | *#6* | 5,9—10 | 1,7+6 | 2,1+2 | #2 | 2,8—10 | 3,6+6 | 3,8+3 |
| Ag-105 | 41,0 сут | #4 | 1,3—9 | 7,7+5 | 1,5+2 | #2 | 2,5—9 | 4,0+5 | 3,0+2 |
| Ag-106m | 8,41 сут | #2 | 5,8—9 | 1,7+5 | 9,1+1 | #2 | 6,9—9 | 1,4+5 | 9,3+1 |
| Ag-108m | 1,27+2 лет | #5 | 8,6—9 | 1,2+5 | 1,6+1 | #2 | 1,1—8 | 9,1+4 | 6,0+1 |
| Ag-110m | 250 сут | #5 | 9,2—9 | 1,1+5 | 1,5+1 | #2 | 1,4—8 | 7,1+4 | 5,0+1 |
| Ag-111 | 7,45 сут | #5 | 1,9—9 | 5,3+5 | 7,2+1 | #2 | 9,3—9 | 1,1+5 | 1,1+2 |
| Cd-109 | 1,27 лет | #1 | 1,4—8 | 7,1+4 | 1,4+1 | #2 | 9,5—9 | 1,1+5 | 6,9+1 |
| Cd-113m | 13,6 лет | #6 | 1,1—7 | 9,1+3 | 1,1 | #2 | 5,6—8 | 1,8+4 | 6,0 |
| Cd-115 | 2,23 сут | #2 | 5,1—9 | 2,0+5 | 1,0+2 | *#2* | 9,7—9 | 1,0+5 | 9,9+1 |
| Cd-115m | 44,6 сут | #5 | 8,9—9 | 1,1+5 | 1,5+1 | *#2* | 1,9—8 | 5,3+4 | 4,2+1 |
| In-115 | 2,83 сут | #2 | 1,2—9 | 8,3+5 | 4,4+2 | #2 | 1,7—9 | 5,9+5 | 4,8+2 |
| In-114m | 49,5 сут | #2 | 7,7—8 | 1,3+4 | 6,8 | *#2* | 3,1—8 | 3,2+4 | 3,4+1 |
| Sn-113 | 115 сут | #5 | 3,2—9 | 3,1+5 | 4,3+1 | #2 | 5,0—9 | 2,0+5 | 1,9+2 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м³ | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Sn-117m | 13,6 сут | #5 | 3,1—9 | 3,2+5 | 4,4+1 | *#2* | 5,0—9 | 2,0+5 | 2,0+2 |
| Sn-119m | 293 сут | #5 | 2,6—9 | 3,8+5 | 5,3+1 | *#2* | 2,5—9 | 4,0+5 | 4,1+2 |
| Sn-121 | 1,13 сут | #5 | 2,9—10 | 3,4+6 | 4,7+2 | #2 | 1,7—9 | 5,9+5 | 6,0+2 |
| Sn-121m | 55,0 лет | #5 | 5,5—9 | 1,8+5 | 2,5+1 | #2 | 2,7—9 | 3,7+5 | 3,7+2 |
| Sn-123 | 129 сут | #5 | 9,5—9 | 1,1+5 | 1,4+1 | #2 | 1,6—8 | 6,3+4 | 6,6+1 |
| Sn-125 | 9,64 сут | #2 | 1,5—8 | 6,7+4 | 3,5+1 | #2 | 2,2—8 | 4,5+4 | 4,5+1 |
| Sn-126 | 1 ,00+5 лет | #5 | 3,3—8 | 3,0+4 | 4,2 | #2 | 3,0—8 | 3,3+4 | 3,0+1 |
| Sb-119 | 1,59 сут | *#2* | 2,8—10 | 3,6+6 | 1,9+3 | #2 | 5,8—10 | 1,7+6 | 1,7+3 |
| Sb-120 | 5,76 сут | #2 | 5,0—9 | 2,0+5 | 1,1+2 | #2 | 6,0—9 | 1,7+5 | 1,2+2 |
| Sb-122 | 2,70 сут | #2 | 5,7—9 | 1,8+5 | 9,2+1 | #2 | 1,2—8 | 8,3+4 | 8,2+1 |
| Sb-124 | 60,2 сут | #5 | 7,7—9 | 1,3+5 | 1,8+1 | #2 | 1,6—8 | 6,3+4 | 5,6+1 |
| Sb-125 | 2,77 лет | *#5* | 5,8—9 | 1,7+5 | 2,4+1 | #2 | 6,1—9 | 1,6+5 | 1,3+2 |
| Sb-127 | 3,85 сут | #5 | 2,1—9 | 4,8+5 | 6,5+1 | #2 | 1,2—8 | 8,3+4 | 8,2+1 |
| Te-121 | 17,0 сут | #2 | 1,9—9 | 5,3+5 | 2,8+2 | #2 | 2,0—9 | 5,0+5 | 3,2+2 |
| Te-121m | 154 сут | #5 | 5,1—9 | 2,0+5 | 2,7+1 | #2 | 1,2—8 | 8,3+4 | 6,0+1 |
| Te-123m | 120 сут | #5 | 5,0—9 | 2,0+5 | 2,7+1 | #2 | 8,8—9 | 1,1+5 | 9,9+1 |
| Te-125m | 58,0 сут | #5 | 4,3—9 | 2,3+5 | 3,2+1 | #2 | 6,3—9 | 1,6+5 | 1,6+2 |
| Te-127m | 109 сут | #5 | 9,2—9 | 1,1+5 | 1,5+1 | #2 | 1,8—8 | 5,6+4 | 6,0+1 |
| Te-129m | 33,6 сут | #5 | 8,0—9 | 1,3+5 | 1,7+1 | #2 | 2,4—8 | 4,2+4 | 4,6+1 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух ПГП$_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность ДОА$_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища ПГП$_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Te-131m | 1,25 сут | | #2 | 5,8—9 | 1,7+5 | 9,1+1 | | #2 | 1,4—8 | 7,1+4 | 7,3+1 |
| Te-132 | 3,26 сут | | #2 | 1,3—8 | 7,7+4 | 4,0+1 | | #2 | 3,0—8 | 3,3+4 | 3,7+1 |
| I-124 | 4,18 сут | | #2 | 4,5—8 | 2,2+4 | 1,2+1 | | #2 | 1,1—7 | 9,1+3 | 1,1+1 |
| I-125 | 60,1 сут | | #4 | 1,1—8 | 9,1+4 | 1,7+1 | | #2 | 5,7—8 | 1,8+4 | 9,3 |
| I-126 | 13,0 сут | | #2 | 8,3—8 | 1,2+4 | 6,3 | | #2 | 2,1—7 | 4,8+3 | 4,8 |
| I-129 | 1,57+7 лет | | #4 | 6,7—8 | 1,5+4 | 2,9 | | *#2* | 1,9—7 | 5,3+3 | 1,3 |
| I-131 | 8,04 сут | | #2 | 7,2—8 | 1,4+4 | 7,3 | | *#2* | 1,8—7 | 5,6+3 | 6,3 |
| Cs-129 | 1,34 сут | | #2 | 2,8—10 | 3,6+6 | 1,9+3 | | #2 | 3,0—10 | 3,3+6 | 2,3+3 |
| Cs-131 | 9,69 сут | | #2 | 1,7—10 | 5,9+6 | 3,1+3 | | #2 | 2,9—10 | 3,4+6 | 2,4+3 |
| Cs-132 | 6,48 сут | | *#2* | 1,2—9 | 8,3+5 | 4,4+2 | | #2 | 1,8—9 | 5,6+5 | 2,8+2 |
| Cs-134 | 2,06 лет | | *#6* | 6,6—9 | 1,5+5 | 1,9+1 | | #6 | 1,9—8 | 5,3+4 | 7,3 |
| Pm-147 | 2,62 лет | | *#5* | 5,8—9 | 1,7+5 | 2,4+1 | | *#2* | 1,9—9 | 5,3+5 | 5,3+2 |
| Pm-148 | 5,37 сут | | *#2* | 1,1—8 | 9,1+4 | 4,8+1 | | *#2* | 1,9—8 | 5,3+4 | 5,1+1 |
| Pm-148m | 41,3 сут | | #5 | 7,1—9 | 1,4+5 | 1,9+1 | | *#2* | 1,0—8 | 1,0+5 | 8,2+1 |
| Pm-149 | 2,21 сут | | *#2* | 3,6—9 | 2,8+5 | 1,5+2 | | *#2* | 7,4—9 | 1,4+5 | 1,4+2 |
| Pm-151 | 1,18сут | | #2 | 2,6—9 | 3,8+5 | 2,0+2 | | *#2* | 5,1—9 | 2,0+5 | 1,9+2 |
| Sm-145 | 340 сут | | *#5* | 1,9—9 | 5,3+5 | 7,2+1 | | *#2* | 1,4—9 | 7,1+5 | 6,6+2 |
| Sm-146 | 1,03+8 лет | | *#6* | 1,1—5 | 9,1+1 | 1,1-2 | | *#2* | 1,5—7 | 6,7+3 | 2,6 |
| Sm-151 | 90,0 лет | | *#6* | 4,0—9 | 2,5+5 | 3,1 + 1 | | *#2* | 6,4—10 | 1,6+6 | 1,4+3 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Sm-153 | 1,95 сут | #5 | 7,9—10 | 1,3+6 | 1,7+2 | #2 | 5,4—9 | 1,9+5 | 1,9+2 |
| Eu-145 | 5,94 сут | #2 | 2,9—9 | 3,4+5 | 1,8+2 | #2 | 3,7—9 | 2,7+5 | 1,9+2 |
| Eu-146 | 4,61 сут | #2 | 4,4—9 | 2,3+5 | 1,2+2 | #2 | 6,2—9 | 1,6+5 | 1,1+2 |
| Eu-147 | 24,0 сут | #5 | 1,3—9 | 7,7+5 | 1,1+2 | #2 | 2,5—9 | 4,0+5 | 3,2+2 |
| Eu-148 | 54,5 сут | #4 | 4,6—9 | 2,2+5 | 4,2+1 | #2 | 6,0—9 | 1,7+5 | 1,1+2 |
| Eu-149 | 93,1 сут | #5 | 3,5—10 | 2,9+6 | 3,9+2 | #2 | 6,3—10 | 1,6+6 | 1,4+3 |
| Eu-150 | 34,2 лет | #6 | 5,3—8 | 1,9+4 | 2,3 | #2 | 5,7—9 | 1,8+5 | 1,1+2 |
| Eu-152 | 13,3 лет | #6 | 4,2—8 | 2,4+4 | 2,9 | #2 | 7,4—9 | 1,4+5 | 9,9+1 |
| Eu-154 | 8,80 лет | #6 | 5,3—8 | 1,9+4 | 2,3 | #2 | 1,2—8 | 8,3+4 | 6,9+1 |
| Eu-155 | 4,96 лет | #6 | 6,9—9 | 1,4+5 | 1,8+1 | #2 | 2,2—9 | 4,5+5 | 4,3+2 |
| Eu-156 | 15,2 сут | #5 | 4,2—9 | 2,4+5 | 3,3+1 | #2 | 1,5—8 | 6,7+4 | 6,3+1 |
| Gd-146 | 48,3 сут | #5 | 7,9—9 | 1,3+5 | 1,7+1 | #2 | 6,0—9 | 1,7+5 | 1,4+2 |
| Gd-147 | 1,59 сут | #2 | 2,2—9 | 4,5+5 | 2,4+2 | #2 | 3,2—9 | 3,1+5 | 2,3+2 |
| Cs-135 | 2,30+6 лет | #6 | 6,9—10 | 1,4+6 | 1,8+2 | #6 | 2,0—9 | 5,0+5 | 6,9+1 |
| Cs-136 | 13,1 сут | #4 | 2,0—9 | 5,0+5 | 9,6+1 | #2 | 9,5—9 | 1,1+5 | 4,6+1 |
| Cs-137 | 30,0 лет | #6 | 4,6—9 | 2,2+5 | 2,7+1 | #6 | 1,3—8 | 7,7+4 | 1,1+1 |
| Ba-128 | 2,43 сут | #2 | 7,8—9 | 1,3+5 | 6,7+1 | #2 | 1,7—8 | 5,9+4 | 5,1+1 |
| Ba-131 | 11,8 сут | #5 | 9,7—10 | 1,0+6 | 1,4+2 | #2 | 2,6—9 | 3,8+5 | 3,1+2 |
| Ba-133 | 10,7 лет | #5 | 5,5—9 | 1,8+5 | 2,5+1 | #5 | 7,3—9 | 1,4+5 | 9,3+1 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Ba-133m | 1,62 сут | | *#2* | 2,2—9 | 4,5+5 | 2,4+2 | | *#2* | 3,6—9 | 2,8+5 | 2,6+2 |
| Ba-135m | 1,20 сут | | *#2* | 1,8—9 | 5,6+5 | 2,9+2 | | *#2* | 2,9—9 | 3,4+5 | 3,2+2 |
| Ba-140 | 12,7 сут | | *#5* | 6,2—9 | 1,6+5 | 2,2+1 | | *#2* | 1,8—8 | 5,6+4 | 5,3+1 |
| La-137 | 6,00+4 лет | | *#6* | 8,7—9 | 1,1+5 | 1,4+1 | | *#2* | 4,5—10 | 2,2+6 | 1,7+3 |
| La-140 | 1,68 сут | | *#2* | 6,3—9 | 1,6+5 | 8,4+1 | | *#2* | 1,3—8 | 7,7+4 | 6,9+1 |
| Ce-134 | 3,00 сут | | *#2* | 7,6—9 | 1,3+5 | 6,9+1 | | *#2* | 1,8—8 | 5,6+4 | 5,6+1 |
| Ce-137m | 1,43 сут | | *#2* | 2,2—9 | 4,5+5 | 2,4+2 | | *#2* | 3,9—9 | 2,6+5 | 2,6+2 |
| Ce-139 | 138 сут | | #5 | 2,1—9 | 4,8+5 | 6,5+1 | | *#2* | 1,6—9 | 6,3+5 | 5,3+2 |
| Ce-141 | 32,5 сут | | #5 | 4,1—9 | 2,4+5 | 3,3+1 | | *#2* | 5,1—9 | 2,0+5 | 2,0+2 |
| Ce-143 | 1,38 сут | | *#2* | 3,9—9 | 2,6+5 | 1,3+2 | | #2 | 8,0—9 | 1,3+5 | 1,3+2 |
| Ce-144 | 284 сут | | *#2* | 1,6—7 | 6,3+3 | 3,3 | | #2 | 3,9—8 | 2,6+4 | 2,7+1 |
| Pr-143 | 13,6 сут | | *#5* | 3,0—9 | 3,3+5 | 4,6+1 | | *#2* | 8,7—9 | 1,1+5 | 1,2+2 |
| Nd-147 | 11,0 сут | | *#5* | 3,0—9 | 3,3+5 | 4,6+1 | | *#2* | 7,8—9 | 1,3+5 | 1,3+2 |
| Pm-143 | 265 сут | | *#5* | 1,7—9 | 5,9+5 | 8,1+1 | | *#2* | 1,2—9 | 8,3+5 | 6,0+2 |
| Pm-144 | 363 сут | | *#5* | 9,3—9 | 1,1+5 | 1,5+1 | | *#2* | 4,7—9 | 2,1+5 | 1,4+2 |
| Pm-145 | 17,7 лет | | *#6* | 3,6—9 | 2,8+5 | 3,4+1 | | *#2* | 6,8—10 | 1,5+6 | 1,3+3 |
| Pm-146 | 5,53 лет | | *#6* | 2,1—8 | 4,8+4 | 5,9 | | *#2* | 5,1—9 | 2,0+5 | 1,5+2 |
| Yb-169 | 32,0 сут | | #5 | 3,7—9 | 2,7+5 | 3,7+1 | | *#2* | 4,6—9 | 2,2+5 | 2,0+2 |
| Yb-175 | 4,19 сут | | #5 | 9,2—10 | 1,1+6 | 1,5+2 | | *#2* | 3,2—9 | 3,1+5 | 3,2+2 |

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух ПГП$_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность ДОА$_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища ПГП$_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Lu-169 | 1,42 сут | | *#2* | 1,9—9 | 5,3+5 | 2,8+2 | | *#2* | 2,4—9 | 4,2+5 | 3,0+2 |
| Lu-170 | 2,00 сут | | #2 | 3,5—9 | 2,9+5 | 1,5+2 | | *#2* | 5,2—9 | 1,9+5 | 1,4+2 |
| Lu-171 | 8,22 сут | | #5 | 1,1—9 | 9,1+5 | 1,2+2 | | *#2* | 4,0—9 | 2,5+5 | 2,1+2 |
| Lu-172 | 6,70 сут | | #5 | 2,0—9 | 5,0+5 | 6,8+1 | | #2 | 7,0—9 | 1,4+5 | 1,1+2 |
| Lu-173 | 1,37 лет | | *#5* | 2,9—9 | 3,4+5 | 4,7+1 | | *#2* | 1,6—9 | 6,3+5 | 5,3+2 |
| Lu-174 | 3,31 лет | | #5 | 4,9—9 | 2,0+5 | 2,8+1 | | *#2* | 1,7—9 | 5,9+5 | 5,1+2 |
| Lu-174m | 142 сут | | #5 | 5,0—9 | 2,0+5 | 2,7+1 | | *#2* | 3,8—9 | 2,6+5 | 2,6+2 |
| Lu-177 | 6,71 сут | | #5 | 1,5—9 | 6,7+5 | 9,1+1 | | *#2* | 3,9—9 | 2,6+5 | 2,6+2 |
| Lu-177m | 161 сут | | #5 | 2,0—8 | 5,0+4 | 6,8 | | *#2* | 1,1—8 | 9,1+4 | 8,2+1 |
| Hf-172 | 1,87 лет | | #6 | 3,2—8 | 3,1+4 | 3,9 | | *#2* | 6,1—9 | 1,6+5 | 1,4+2 |
| Hf-175 | 70,0 сут | | *#5* | 1,4—9 | 7,1+5 | 9,8+1 | | *#2* | 2,4—9 | 4,2+5 | 3,4+2 |
| Hf-178m | 31,0 лет | | *#6* | 2,6—7 | 3,8+3 | 4,7-1 | | *#2* | 1,9—8 | 5,3+4 | 3,0+1 |
| Hf-179m | 25,1 сут | | *#5* | 4,8—9 | 2,1+5 | 2,9+1 | | #2 | 7,8—9 | 3+5 | 1,2+2 |
| Hf-181 | 42,4 сут | | #5 | 6,3—9 | 1,6+5 | 2,2+1 | | #2 | 7,4—9 | 4+5 | 1,3+2 |
| Hf-182 | 9,00+6 лет | | #6 | 3,1—7 | 3,2+3 | 4,0-1 | | *#2* | 7,9—9 | 3+5 | 4,6+1 |
| Ta-177 | 2,36 сут | | #2 | 5,0—10 | 2,0+6 | 1,1+3 | | *#2* | 6,9—10 | 4+6 | 1,3+3 |
| Ta-179 | 1,82 лет | | #5 | 6,4—10 | 1,6+6 | 2,1+2 | | #2 | 4,1—10 | 2,4+6 | 2,1+3 |
| Ta-182 | 115 сут | | #5 | 1,3—8 | 7,7+4 | 1,1+1 | | #2 | 9,4—9 | 1+5 | 9,3+1 |
| Ta-183 | 5,10 сут | | *#5* | 2,7—9 | 3,7+5 | 5,1+1 | | *#2* | 9,3—9 | 1+5 | 1,1+2 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м³ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| W-178 | 21,7 сут | | *#2* | 5,4—10 | 1,9+6 | 9,7+2 | | *#2* | 1,4—9 | 7,1+5 | 6,3+2 |
| W-181 | 121 сут | | *#2* | 1,9—10 | 5,3+6 | 2,8+3 | | *#2* | 4,7—10 | 2,1+6 | 1,8+3 |
| Gd-148 | 93,0 лет | | *#6* | 2,6—5 | 3,8+1 | 4,7-3 | | *#2* | 1,6—7 | 6,3+3 | 2,5 |
| Gd-149 | 9,40 сут | | *#5* | 9,2—10 | 1,1+6 | 1,5+2 | | *#2* | 2,7—9 | 3,7+5 | 3,1+2 |
| Gd-151 | 120 сут | | *#2* | 4,9—9 | 2,0+5 | 1,1+2 | | *#2* | 1,3—9 | 7,7+5 | 6,9+2 |
| Gd-153 | 242 сут | | *#2* | 1,2—8 | 8,3+14 | 4,4+1 | | *#2* | 1,8—9 | 5,6+5 | 5,1+2 |
| Tb-153 | 2,34 сут | | *#2* | 1,0—9 | 1,0+6 | 5,3+2 | | *#2* | 1,5—9 | 6,7+5 | 5,6+2 |
| Tb-155 | 5,32 сут | | #5 | 2,7—10 | 3,7+6 | 5,1+2 | | *#2* | 1,3—9 | 7,7+5 | 6,6+2 |
| Tb-156 | 5,34 сут | | *#5* | 1,5—9 | 6,7+5 | 9,1+1 | | #2 | 6,3—9 | 1,6+5 | 1,2+2 |
| Tb-156m | 1,02 сут | | #5 | 2,7—10 | 3,7+6 | 5,1+2 | | *#2* | 1,0—9 | 1,0+6 | 8,2+2 |
| Tb-157 | 1,50+2 лет | | *#6* | 1,2—9 | 8,3+5 | 1,0+2 | | *#2* | 2,2—10 | 4,5+6 | 4,1+3 |
| Tb-158 | 1,50+2 лет | | #6 | 4,6—8 | 2,2+4 | 2,7 | | *#2* | 5,9—9 | 1,7+5 | 1,3+2 |
| Tb-160 | 72,3 сут | | #5 | 8,6—9 | 1,2+5 | 1,6+1 | | *#2* | 1,0—8 | 1,0+5 | 8,7+1 |
| Tb-161 | 6,91 сут | | #5 | 1,6—9 | 6,3+5 | 8,6+1 | | *#2* | 5,3—9 | 1,9+5 | 1,9+2 |
| Dy-159 | 144 сут | | #2 | 1,7—9 | 5,9+5 | 3,1+2 | | #2 | 6,4—10 | 1,6+6 | 1,4+3 |
| Dy-166 | 3,40 сут | | *#5* | 2,3—9 | 4,3+5 | 6,0+1 | | #2 | 1,2—8 | 8,3+4 | 8,7+1 |
| Ho-166 | 1,12 сут | | *#2* | 4,0—9 | 2,5+5 | 1,3+2 | | #2 | 1,0—8 | 1,0+5 | 9,9+1 |
| Ho-166m | 1,20+3 лет | | *#6* | 1,2—7 | 8,3+3 | 1,0 | | #2 | 9,3—9 | 1,1+5 | 6,9+1 |
| Er-169 | 9,30 сут | | *#5* | 1,3—9 | 7,7+5 | 1,3+2 | | #2 | 2,8—9 | 3,6+5 | 3,8+2 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Er-172 | 2,05 сут | | *#5* | 1,4—9 | 7,1+5 | 9,8+1 | | *#2* | 6,8—9 | 1,5+5 | 1,4+2 |
| Tm-167 | 9,24 сут | | #5 | 1,4—9 | 7,1+5 | 9,8+1 | | #2 | 3,9—9 | 2,6+5 | 2,5+2 |
| Tm-170 | 129 сут | | #5 | 8,5—9 | 1,2+5 | 1,6+1 | | *#2* | 9,8—9 | 1,0+5 | 1,1+2 |
| Tm-171 | 1,92 лет | | *#5* | 1,6—9 | 6,3+5 | 8,6+1 | | *#2* | 7,8—10 | 1,3+6 | 1,3+3 |
| Tm-172 | 2,65 сут | | *#2* | 5,8—9 | 1,7+5 | 9,1+1 | | #2 | 1,2—8 | 8,3+4 | 8,2+1 |
| Yb-166 | 2,36 сут | | *#2* | 3,7—9 | 2,7+5 | 1,4+2 | | *#2* | 5,4—9 | 1,9+5 | 1,5+2 |
| W-185 | 75,1 сут | | *#2* | 1,0—9 | 1,0+6 | 5,3+2 | | *#2* | 3,3—9 | 3,0+5 | 3,2+2 |
| W-188 | 69,4 сут | | *#2* | 5,0—9 | 2,0+5 | 1,1+2 | | *#2* | 1,5—8 | 6,7+4 | 6,6+1 |
| Re-182 | 2,67 сут | | *#2* | 6,3—9 | 1,6+5 | 8,4+1 | | *#2* | 8,9—9 | 1,1+5 | 9,9+1 |
| Re-184 | 38,0 сут | | *#5* | 2,4—9 | 4,2+5 | 5,7+1 | | *#2* | 5,6—9 | 1,8+5 | 1,4+2 |
| Re-184m | 165 сут | | #5 | 8,1—9 | 1,2+5 | 1,7+1 | | *#2* | 9,8—9 | 1,0+5 | 9,3+1 |
| Re-186 | 3,78 сут | | #2 | 5,7—9 | 1,8+5 | 9,2+1 | | *#2* | 1,1—8 | 9,1+4 | 9,3+1 |
| Re-186m | 2,00+5 лет | | #5 | 1,4—8 | 7,1+4 | 9,8 | | *#2* | 1,6—8 | 6,3+4 | 6,3+1 |
| Re-189 | 1,01 сут | | *#2* | 2,6—9 | 3,8+5 | 2,0+2 | | *#2* | 6,2—9 | 1,6+5 | 1,8+2 |
| Os-185 | 94,0 сут | | *#5* | 1,9—9 | 5,3+5 | 7,2+1 | | *#2* | 2,6—9 | 3,8+5 | 2,7+2 |
| Os-191 | 15,4 сут | | *#5* | 2,3—9 | 4,3+5 | 6,0+1 | | *#2* | 4,1—9 | 2,4+5 | 2,4+2 |
| Os-193 | 1,25 сут | | *#2* | 2,7—9 | 3,7+5 | 1,9+2 | | *#2* | 6,0—9 | 1,7+5 | 1,7+2 |
| Os-194 | 6,00 лет | | *#6* | 8,5—8 | 1,2+4 | 1,5 | | *#2* | 1,7—8 | 5,9+4 | 5,8+1 |
| Ir-188 | 1,73 сут | | *#2* | 2,2—9 | 4,5+5 | 2,4+2 | | *#2* | 3,3—9 | 3,0+5 | 2,2+2 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух ПГП$_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность ДОА$_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища ПГП$_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Ir-189 | 13,3 сут | | *#5* | 7,3—10 | 1,4+6 | 1,9+2 | | *#2* | 1,7—9 | 5,9+5 | 5,8+2 |
| Ir-190 | 12,1 сут | | *#5* | 3,0—9 | 3,3+5 | 4,6+1 | | *#2* | 7,1—9 | 1,4+5 | 1,2+2 |
| Ir-192 | 74,0 сут | | *#5* | 8,1—9 | 1,2+5 | 1,7+1 | | *#2* | 8,7—9 | 1,1+5 | 9,9+1 |
| Ir-192m | 2,41+2 лет | | *#6* | 3,9—8 | 2,6+4 | 3,2 | | *#2* | 1,4—9 | 7,1+5 | 4,5+2 |
| Ir-193m | 11,9 сут | | *#5* | 1,6—9 | 6,3+5 | 8,6+1 | | #2 | 2,0—9 | 5,0+5 | 5,1+2 |
| Ir-194m | 171 сут | | #5 | 1,5—8 | 6,7+4 | 9,1 | | *#2* | 1,1—8 | 9,1+4 | 6,6+1 |
| Pt-188 | 10,2 сут | | *#2* | 2,7—9 | 3,7+5 | 1,9+2 | | *#2* | 4,5—9 | 2,2+5 | 1,8+2 |
| Pt-191 | 2,80 сут | | *#2* | 7,9—10 | 1,3+6 | 6,7+2 | | #2 | 2,1—9 | 4,8+5 | 4,1+2 |
| Pt-193 | 50,0 лет | | #2 | 1,6—10 | 6,3+6 | 3,3+3 | | *#2* | 2,4—10 | 4,2+6 | 4,5+3 |
| Pt-193m | 4,33 сут | | *#2* | 1,0—9 | 1,0+6 | 5,3+2 | | *#2* | 3,4—9 | 2,9+5 | 3,1+2 |
| Pt-195m | 4,02 сут | | #2 | 1,5—9 | 6,7+5 | 3,5+2 | | *#2* | 4,6—9 | 2,2+5 | 2,2+2 |
| Au-194 | 1,65 сут | | #2 | 1,4—9 | 7,1+5 | 3,8+2 | | *#2* | 2,2—9 | 4,5+5 | 3,3+2 |
| Au-195 | 183 сут | | #5 | 2,1—9 | 4,8+5 | 6,5+1 | | *#2* | 1,7—9 | 5,9+5 | 5,6+2 |
| Au-198 | 2,69 сут | | *#2* | 4,4—9 | 2,3+5 | 1,2+2 | | *#2* | 7,2—9 | 1,4+5 | 1,4+2 |
| Au-198m | 2,30 сут | | *#5* | 2,5—9 | 4,0+5 | 5,5+1 | | *#2* | 8,5—9 | 1,2+5 | 1,1+2 |
| Au-199 | 3,14 сут | | *#5* | 1,0—9 | 1,0+6 | 1,4+2 | | *#2* | 3,1—9 | 3,2+5 | 3,2+2 |
| Hg-194 | 2,60+2 лет | [8] | *#6* | 1,4—8 | 7,1+4 | 8,8 | | #2 | 1,2—7 | 8,3+3 | 2,7 |
| | | [9] | *#6* | 1,3—8 | 7,7+4 | 9,5 | | *#2* | 3,6—9 | 2,8+5 | 9,9+1 |
| Hg-195m | 1,73 сут | [8] | *#2* | 9,7—10 | 1,0+6 | 5,4+2 | | *#2* | 2,8—9 | 3,6+5 | 3,4+2 |

*Продолжение прилож 3 1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м³ | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| | | [9] *#2* | 2,6—9 | 3,8+5 | 2,0+2 | *#2* | 3,8—9 | 2,6+5 | 2,5+2 |
| Hg-197 | 2,67 сут | [8] #2 | 4,5—10 | 2,5+6 | 1,3+3 | *#2* | 1,2—9 | 8,3+5 | 8,2+2 |
| | | [9] #5 | 3,8—10 | 2,6+6 | 3,6+2 | *#2* | 1,6—9 | 6,3+5 | 6,0+2 |
| Hg-203 | 46,6 сут | [8] #2 | 3,7—9 | 2,7+5 | 1,4+2 | *#2* | 1,1—8 | 9,1+4 | 7,3+1 |
| | | [9] #5 | 3,0—9 | 3,3+5 | 4,6+1 | *#2* | 3,6—9 | 2,8+5 | 2,6+2 |
| Tl-200 | 1,09 сут | *#2* | 8,7—10 | 1,1+6 | 6,0+2 | *#2* | 9,1—10 | 1,1+6 | 6,9+2 |
| Tl-201 | 3,04 сут | *#2* | 3,3—10 | 3,0+6 | 1,6+3 | *#2* | 5,5—10 | 1,8+6 | 1,5+3 |
| Tl-202 | 12,2 сут | *#2* | 1,2—9 | 8,3+5 | 4,4+2 | *#2* | 2,1—9 | 4,8+5 | 3,1+2 |
| Tl-204 | 3,78 лет | *#2* | 3,3—9 | 3,0+5 | 1,6+2 | *#2* | 8,5—9 | 1,2+5 | 1,2+2 |
| Pb-202 | 3,00+5 лет | #5 | 8,7—9 | 1,1+5 | 1,6+1 | *#5* | 2,7—8 | 3,7+4 | 1,6+1 |
| Pb-203 | 2,17 сут | #2 | 1,0—9 | 1,0+6 | 5,3+2 | *#2* | 1,3—9 | 7,7+5 | 5,8+2 |
| Pb-205 | 1,43+7 лет | #5 | 2,9—10 | 3,4+6 | 4,7+2 | #2 | 9,9—10 | 1,0+6 | 5,0+2 |
| Pb-210 | 22,3 лет | *#5* | 1,3—6 | 7,7+2 | 1,1—1 | #2 | 3,6—6 | 2,8+2 | 2,0—1 |
| Bi-205 | 15,3 сут | *#5* | 1,2—9 | 8,3+5 | 1,1+2 | *#2* | 4,5—9 | 2,2+5 | 1,5+2 |
| Bi-206 | 6,24 сут | *#5* | 2,1—9 | 4,8+5 | 6,5+1 | *#2* | 1,0—8 | 1,0+5 | 7,3+1 |
| Bi-207 | 38,0 лет | *#5* | 6,5—9 | 1,5+5 | 2,1+1 | *#2* | 7,1—9 | 1,4+5 | 1,1+2 |
| Bi-210 | 5,01 сут | *#5* | 1,1—7 | 9,1+3 | 1,2 | *#2* | 9,7—9 | 1,0+5 | 1,1+2 |
| Bi-210m | 3,00+6 лет | *#5* | 4,1—6 | 2,4+2 | 3,3—2 | *#2* | 9,1—8 | 1,1+4 | 9,3 |
| Po-210 | 138 сут | *#5* | 4,0—6 | 2,5+2 | 3,4—2 | *#2* | 8,8—6 | 1,1+2 | 1,2—1 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Ra-223 | 11,4 сут | *#5* | 9,4—6 | 1,1+2 | 1,5—2 | *#2* | 1,1—6 | 9,1+2 | 1,4 |
| Ra-224 | 3,66 сут | #5 | 3,7—6 | 2,7+2 | 3,7—2 | *#2* | 6,6—7 | 1,5+3 | 2,1 |
| Ra-225 | 14,8 сут | #5 | 7,9—6 | 1,3+2 | 1,7—2 | *#2* | 1,2—6 | 8,3+2 | 1,4 |
| Ra-226 | 1,60+3 лет | *#5* | 4,5—6 | 2,2+2 | 3,0—2 | *#5* | 1,5—6 | 6,7+2 | 5,0—1 |
| Ra-228 | 5,75 лет | *#5* | 4,4—6 | 2,3+2 | 3,1—2 | *#5* | 5,3—6 | 1,9+2 | 2,0—1 |
| Ac-225 | 10,0 сут | *#5* | 1,1—5 | 9,1+1 | 1,2—2 | *#2* | 1,8—7 | 5,6+3 | 5,8 |
| Ac-226 | 1,21 сут | #5 | 1,6—6 | 6,3+2 | 8,6—2 | #2 | 7,6—8 | 1,3+4 | 1,4+1 |
| Ac-227 | 21,8 лет | *#6* | 5,5—4 | 1,8 | 2,2—4 | #2 | 3,1—6 | 3,2+2 | 1,3—1 |
| Th-227 | 18,7 сут | *#5* | 1,3—5 | 7,7+1 | 1,1—2 | #2 | 7,0—8 | 1,4+4 | 1,6+1 |
| Th-228 | 1,91 лет | *#5* | 4,7—5 | 2,1+1 | 2,9—3 | *#2* | 3,7—7 | 2,7+3 | 1,9 |
| Th-229 | 7,34+3 лет | #6 | 7,1—5 | 1,4+1 | 1,7—3 | *#2* | 1,0—6 | 1,0+3 | 2,8—1 |
| Th-230 | 7,70+4 лет | #6 | 1,4—5 | 7,1+1 | 8,8—3 | *#2* | 4,1—7 | 2,4+3 | 6,6—1 |
| Th-231 | 1,06 сут | #2 | 1,7—9 | 5,9+5 | 3,1+2 | #2 | 2,5—9 | 4,0+5 | 4,1+2 |
| Th-232 | 1,40+10 лет | #6 | 2,5—5 | 4,0+1 | 4,9—3 | *#2* | 4,5—7 | 2,2+3 | 6,0—1 |
| Th-234 | 24,1 сут | #5 | 9,1—9 | 1,1+5 | 1,5+1 | #2 | 2,5—8 | 4,0+4 | 4,1+1 |
| Pa-230 | 17,4 сут | #5 | 9,6—7 | 1,0+3 | 1,4—1 | #2 | 5,7—9 | 1,8+5 | 1,5+2 |
| Pa-231 | 3,27+4 лет | *#6* | 1,4—4 | 7,1 | 8,8—4 | *#2* | 1,3—6 | 7,7+2 | 2,0—1 |
| Pa-232 | 1,31 сут | #6 | 1,0—8 | 1,0+5 | 1,2+1 | *#2* | 4,2—9 | 2,4+5 | 1,9+2 |
| Pa-233 | 27,0 сут | *#5* | 4,9—9 | 2,0+5 | 2,8+1 | *#2* | 6,2—9 | 1,6+5 | 1,6+2 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| U-230 | 20,8 сут | | *#5* | 1,7—5 | 5,9+1 | 8,1—3 | | *#2* | 3,0—7 | 3,3+3 | 2,5 |
| U-231 | 4,20 сут | | *#5* | 4,6—10 | 2,2+6 | 3,0+2 | | *#2* | 2,0—9 | 5,0+5 | 5,0+2 |
| U-232 | 72,0 лет | | #5 | 1,0—5 | 1,0+2 | 1,4—2 | | *#5* | 6,4—7 | 1,6+3 | 4,2—1 |
| U-233 | 1,58+5 лет | | #5 | 4,3—6 | 2,3+2 | 3,2—2 | | *#2* | 1,4—7 | 7,1+3 | 2,7 |
| U-234 | 2,44+5 лет | | *#5* | 4,2—6 | 2,4+2 | 3,3—2 | | *#2* | 1,3—7 | 7,7+3 | 2,9 |
| U-235 | 7,04+8 лет | | *#5* | 3,7—6 | 2,7+2 | 3,7—2 | | *#2* | 1,3—7 | 7,7+3 | 3,0 |
| U-236 | 2,34+7 лет | | *#5* | 3,9—6 | 2,6+2 | 3,5—2 | | *#2* | 1,3—7 | 7,7+3 | 3,0 |
| U-237 | 6,75 сут | | #5 | 2,1—9 | 4,8+5 | 6,5+1 | | *#2* | 5,4—9 | 1,9+5 | 1,8+2 |
| U-238 | 4,47+9 лет | | #5 | 3,4—6 | 2,9+2 | 4,0—2 | | *#2* | 1,2—7 | 8,4+3 | 3,1 |
| Np-234 | 4,40 сут | | *#2* | 3,0—9 | 3,3+5 | 1,8+2 | | *#2* | 4,4—9 | 2,3+5 | 1,7+2 |
| Np-235 | 1,08 лет | | *#5* | 5,1—10 | 2,0+6 | 2,7+2 | | *#2* | 4,1—10 | 2,4+6 | 2,6+3 |
| Np-236 | 1,15+5 лет | | #6 | 3,2—6 | 3,1+2 | 3,9—2 | | *#5* | 1,8—8 | 5,6+4 | 8,2 |
| Np-237 | 2,14+6 лет | | *#6* | 2,3—5 | 4,3+1 | 5,4—3 | | *#2* | 2,1—7 | 4,8+3 | 1,3 |
| Np-238 | 2,12 сут | | *#6* | 2,1—9 | 4,8+5 | 5,9+1 | | #2 | 6,2—9 | 1,6+5 | 1,5+2 |
| Np-239 | 2,36 сут | | *#5* | 1,2—9 | 8,3+5 | 1,1+2 | | *#2* | 5,7—9 | 1,8+5 | 1,7+2 |
| Pu-236 | 2,85 лет | | *#6* | 2,0—5 | 5,0+1 | 6,2-3 | | *#2* | 2,2—7 | 4,5+3 | 1,6 |
| Pu-237 | 45,3 сут | | *#5* | 4,3—10 | 2,3+6 | 3,2+2 | | *#2* | 6,9—10 | 1,4+6 | 1,4+3 |
| Pu-238 | 87,7 лет | | #6 | 4,6—5 | 2,2+1 | 2,7—3 | | *#2* | 4,0—7 | 2,5+3 | 6,0—1 |
| Pu-239 | 2,41+4 лет | | *#6* | 5,0—5 | 2,0+1 | 2,5—3 | | *#2* | 4,2—7 | 2,4+3 | 5,6—1 |

*Продолжение прилож. 3.1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Pu-240 | 6,54+3 лет | #6 | 5,0—5 | 2,0+1 | 2,5—3 | #2 | 4,2—7 | 2,4+3 | 5,6—1 |
| Pu-241 | 14,4 лет | #6 | 9,0—7 | 1,1+3 | 1,4—1 | #6 | 4,8—9 | 2,1+5 | 2,9+1 |
| Pu-242 | 3,76+5 лет | #6 | 4,8—5 | 2,1+1 | 2,6—3 | #2 | 4,0—7 | 2,5+3 | 5,8—1 |
| Pu-244 | 8,26+7 лет | #6 | 4,7—5 | 2,1+1 | 2,6—3 | #2 | 4,1—7 | 2,4+3 | 5,8—1 |
| Pu-246 | 10,9 сут | #5 | 9,1—9 | 1,1+5 | 1,5+1 | #2 | 2,3—8 | 4,3+4 | 4,2+1 |
| Am-240 | 2,12 сут | #2 | 2,2—9 | 4,5+5 | 2,4+2 | #2 | 3,3—9 | 3,0+5 | 2,4+2 |
| Am-241 | 4,32+2 лет | #6 | 4,2—5 | 2,4+1 | 2,9—3 | #2 | 3,7—7 | 2,7+3 | 6,9—1 |
| Am-242m | 1,52+2 лет | #6 | 3,7—5 | 2,7+1 | 3,3—3 | #2 | 3,0—7 | 3,3+3 | 7,3—1 |
| Am-243 | 7,38+3 лет | #6 | 4,1—5 | 2,4+1 | 3,0—3 | #2 | 3,7—7 | 2,7+3 | 6,9—1 |
| Cm-240 | 27,0 сут | #5 | 3,8—6 | 2,6+2 | 3,6—2 | #2 | 4,8—8 | 2,1+4 | 1,8+1 |
| Cm-241 | 32,8 сут | #5 | 4,4—8 | 2,3+4 | 3,1 | #2 | 5,7—9 | 1,8+5 | 1,5+2 |
| Cm-242 | 163 сут | #5 | 6,4—6 | 1,6+2 | 2,1—2 | #2 | 7,6—8 | 1,3+4 | 1,2+1 |
| Cm-243 | 28,5 лет | #6 | 3,1—5 | 3,2+1 | 4,0—3 | #2 | 3,3—7 | 3,0+3 | 9,3—1 |
| Cm-244 | 18,1 лет | #6 | 2,7—5 | 3,7+1 | 4,6—3 | #2 | 2,9—7 | 3,4+3 | 1,2 |
| Cm-245 | 8,50+3 лет | #6 | 4,2—5 | 2,4+1 | 2,9—3 | #2 | 3,7—7 | 2,7+3 | 6,6—1 |
| Cm-246 | 4,73+3 лет | #6 | 4,2—5 | 2,4+1 | 2,9—3 | #2 | 3,7—7 | 2,7+3 | 6,6—1 |
| Cm-247 | 1,56+7 лет | #6 | 3,9—5 | 2,6+1 | 3,2—3 | #2 | 3,5—7 | 2,9+3 | 7,3—1 |
| Cm-248 | 3,39+5 лет | #6 | 1,5—4 | 6,7 | 8,2—4 | #2 | 1,4—6 | 7,1+2 | 1,8—1 |
| Cm-250 | 6,90+3 лет | #6 | 8,4—4 | 1,2 | 1,5—4 | #2 | 8,2—6 | 1,2+2 | 3,2—2 |

*Окончание прилож 3 1*

| Радионуклид РН | Период полураспада $T_{1/2}$ | Поступление с воздухом | | | | Поступление с водой и пищей | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент воздух $E_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления воздух $ПГП_{нас}$, Бк в год | Допустимая среднегодовая объемная активность $ДОА_{нас}$, Бк/м$^3$ | Критическая группа[2] КГ | Дозовый коэффициент пища $e_{нас}$, Зв/Бк | Предел годового поступления пища $ПГП_{нас}$, Бк в год | Уровень вмешательства вода УВ, Бк/кг |
| Bk-245 | 4,94 сут | #5 | 2,6—9 | 3,8+5 | 5,3+1 | #2 | 3,9—9 | 2,6+5 | 2,4+2 |
| Bk-246 | 1,83 сут | #2 | 1,7—9 | 5,9+5 | 3,1+2 | #2 | 2,6—9 | 3,8+5 | 2,9+2 |
| Bk-247 | 1,38+3 лет | #6 | 6,9—5 | 1,4+1 | 1,8—3 | #2 | 8,6—7 | 1,2+3 | 4,0—1 |
| Bk-249 | 320 сут | #6 | 1,6—7 | 6,3+3 | 7,7—1 | #2 | 2,9—9 | 3,4+5 | 1,4+2 |
| Cf-246 | 1,49 сут | #5 | 5,7—7 | 1,8+3 | 2,4—1 | #2 | 2,4—8 | 4,2+4 | 4,2+1 |
| Cf-248 | 334 сут | #5 | 1,0—5 | 1,0+2 | 1,4—2 | #2 | 1,6—7 | 6,3+3 | 5,0 |
| Cf-249 | 3,50+2 лет | #6 | 7,0—5 | 1,4+1 | 1,8—3 | #2 | 8,7—7 | 1,1+3 | 4,0—1 |
| Cf-250 | 13,1 лет | #6 | 3,4—5 | 2,9+1 | 3,6—3 | #2 | 5,5—7 | 1,8+3 | 8,7—1 |
| Cf-251 | 8,98+2 лет | #6 | 7,1—5 | 1,4+1 | 1,7—3 | #2 | 8,8—7 | 1,1+3 | 3,9—1 |
| Cf-252 | 2,64 лет | #3 | 5,6—5 | 1,8+1 | 5,6—3 | #2 | 5,1—7 | 2,0+3 | 1,5 |
| Cf-253 | 17,8 сут | #5 | 1,7—6 | 5,9+2 | 8,1—2 | #2 | 1,1—8 | 9,1+4 | 9,9+1 |
| Cf-254 | 60,5 сут | #4 | 7,0—5 | 1,4+1 | 2,7—3 | #2 | 2,6—6 | 3,8+2 | 3,5—1 |
| Es-251 | 1,38 сут | #5 | 2,6—9 | 3,8+5 | 5,3+1 | #2 | 1,2—9 | 8,3+5 | 8,2+2 |
| Es-253 | 20,5 сут | #5 | 3,4—6 | 2,9+2 | 4,0—2 | #2 | 4,5—8 | 2,2+4 | 2,3+1 |
| Es-254 | 276 сут | #5 | 1,0—5 | 1,0+2 | 1,4—2 | #2 | 1,6—7 | 6,3+3 | 5,0 |
| Es-254m | 1,64 сут | #5 | 5,9—7 | 1,7+3 | 2,3—1 | #2 | 3,0—8 | 3,3+4 | 3,3+1 |
| Fm-253 | 3,00 сут | #5 | 5,0—7 | 2,0+3 | 2,7—1 | #2 | 6,7—9 | 1,5+5 | 1,5+2 |
| Fm-257 | 101 сут | #5 | 8,8—6 | 1,1+2 | 1,6—2 | #2 | 1,1—7 | 9,1+3 | 9,3 |
| Md-258 | 55,0 сут | #5 | 7,3—6 | 1,4+2 | 1,9—2 | #2 | 8,9—8 | 1,1+4 | 1,1+1 |

Примечание — Записи в таблице типа 5,9—7 означают $5{,}9 \cdot 10^{-7}$.

[1] За исключением случаев, отмеченных особо, регламентированные значения относятся ко всем возможным соединениям радионуклидов, поступающим в организм с воздухом, пищей и водой.

[2] Обозначение критических групп: #7 — новорожденные дети до 1 года, #2 — дети в возрасте 1—2 года, #3 — дети в возрасте 2—7 лет, #4 — дети в возрасте 7—12 лет, #5 — дети в возрасте 12—17 лет, #6 — взрослые (старше 17 лет).

[3] Неорганические соединения трития.

[4] Органические соединения трития.

[5] Неорганические соединения серы.

[6] Органические соединения серы.

[7] При поступлении изотопа $^{40}K$ дополнительно к природной смеси изотопов калия.

[8] Органические соединения ртути.

[9] Неорганические соединения ртути.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.2

## КРИТЕРИИ ВМЕШАТЕЛЬСТВА НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

1. Защита населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, осуществляется на основе принципов безопасности при вмешательстве. При любых восстановительных действиях необходимо обеспечить непревышение уровня пороговых детерминированных эффектов у населения.

2. Числовые значения критериев вмешательства для территорий, загрязненных в результате радиационных аварий, и вмешательства при обнаружении локальных радиоактивных загрязнений («последствий прежней деятельности») различаются.

3. Критерии вмешательства на территориях, загрязненных в результате радиационных аварий

3.1. На разных стадиях аварии вмешательство регулируется зонированием загрязненных территорий, основанным на величине годовой эффективной дозы, которая может быть получена жителями в отсутствии мер радиационной защиты. Под годовой дозой здесь понимается эффективная доза, средняя у жителей населенного пункта за текущий год, обусловленная искусственными радионуклидами, поступившими в окружающую среду в результате радиационной аварии.

3.2. На территории, где годовая эффективная доза не превышает 1 мЗв, производится обычный контроль радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды и сельскохозяйственной продукции, по результатам которого оценивается доза облучения населения Проживание и хозяйственная

деятельность населения на этой территории по радиационному фактору не ограничивается. Эта территория не относится к зонам радиоактивного загрязнения. При величине годовой дозы более 1 мЗв загрязнение территории по характеру необходимого контроля обстановки и защитных мероприятий подразделяется на зоны.

3.3. Зонирование на ранней и промежуточной стадиях радиационной аварии рассмотрено в п. 6.3.3.4.

3.4. Зонирование на восстановительной стадии радиационной аварии

3.4.1. *Зона радиационного контроля* — от 1 мЗв до 5 мЗв. В этой зоне, помимо мониторинга радиоактивности объектов окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и доз внешнего и внутреннего облучения населения и его критических групп, осуществляются меры по снижению доз на основе принципа оптимизации и другие необходимые активные меры защиты населения.

3.4.2. *Зона ограниченного проживания населения* — от 5 мЗв до 20 мЗв. В этой зоне осуществляются те же меры мониторинга и защиты населения, что и в зоне радиационного контроля. Добровольный въезд на указанную территорию для постоянного проживания не ограничивается. Лицам, въезжающим на указанную территорию для постоянного проживания, разъясняется риск ущерба здоровью, обусловленный воздействием радиации.

3.4.3. *Зона отселения* — от 20 мЗв до 50 мЗв. Въезд на указанную территорию для постоянного проживания не разрешен. В этой зоне запрещается постоянное проживание лиц репродуктивного возраста и детей. Здесь осуществляется радиационный мониторинг людей и объектов внешней среды, а также необходимые меры радиационной и медицинской защиты.

3.4.4. *Зона отчуждения* — более 50 мЗв. В этой зоне постоянное проживание не допускается, а хозяйственная деятельность и природопользование регулируется специальными актами. Осуществляются меры мониторинга и защиты работающих с обязательным индивидуальным дозиметрическим контролем.

4. Критерии вмешательства при обнаружении локальных радиоактивных загрязнений

4.1. *Уровень исследования* — от 0,01 до 0,3 мЗв/год. Это такой уровень радиационного воздействия источника на население, при котором требуется выполнять исследование источника с целью уточнения оценки величины годовой эффективной дозы и определения величины дозы, ожидаемой за 70 лет.

4.2. *Уровень вмешательства* — более 0,3 мЗв/год. Это такой уровень радиационного воздействия, при превышении которого требуется проведение защитных мероприятий с целью ограничения облучения населения. Масштабы и характер мероприятий определяются с учетом интенсивности радиационного воздействия на население по величине ожидаемой коллективной эффективной дозы за 70 лет.

4.3. Решение о необходимости, а также о характере, объеме и очередности защитных мероприятий принимается органами госсанэпиднадзора с учетом следующих основных условий:

местонахождения загрязненных участков (жилая зона, дворовые участки, дороги и подъездные пути, жилые здания, сельскохозяйственные

угодья, садовые и приусадебные участки и пр.; промышленная зона; территория предприятия, здания промышленного и административного назначения, места сбора отходов и пр.);

площади загрязненных участков;

возможного проведения на участке загрязнения работ, действий (процессов), которые могут привести к увеличению уровней радиационного воздействия на население;

мощности дозы гамма-излучения, обусловленной радиоактивным загрязнением;

изменения мощности дозы гамма-излучения на различной глубине от поверхности почвы (при загрязнении территории).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.3

**Нормативы качества и безопасности (по радиационному признаку) для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов**

| Индекс | Группа товаров | Допустимые уровни, Бк/кг | | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| | | Cs-137 | Sr-90 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | МЯСО И МЯСОПРОДУКТЫ; ПТИЦА, ЯЙЦА И ПРОДУКТЫ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ | | | |
| 1.1 | Мясо, в том числе полуфабрикаты свежие, охлажденные, замороженные (все виды убойных промысловых и диких животных): | | | |
| | мясо без костей | 160 | 50 | |
| | оленина без костей | 250 | 80 | |
| | мясо диких животных без костей | 320 | 100 | |
| | кости (все виды) | 160 | 200 | |
| 1.2 | Субпродукты убойных животных, охлажденные, замороженные (печень, почки, язык, мозги, сердце, кровь пищевая и др.) | По п. 1.1 | По п. 1.1 | |
| 1.3 | Жир-сырец говяжий, свиной, бараний и др. убойных животных. Шпик свиной охлажденный, замороженный, соленый, копченый | По п. 7.4 | По п. 7.4 | |

*Продолжение прилож. 3.3*

| Индекс | Группа товаров | Допустимые уровни, Бк/кг | | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| | | Cs-137 | Sr-90 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1.4 | Колбасные изделия, копчености, кулинарные изделия из мяса | По п. 1.1 | По п. 1.1 | Контроль по сырью |
| 1.5 | Мясопродукты с использованием субпродуктов (паштеты, ливерные колбасы, зельцы, студни, кровяные колбасы) | По п. 1.1 | По п. 1.1 | Контроль по сырью |
| 1.6 | Консервы из мяса, мясорастительные | По п. 1.1 | По п. 1.1 | Контроль по сырью |
| 1.7 | Консервы из субпродуктов, в том числе паштетные (все виды убойных и промысловых животных) | По п. 1.1 | По п. 1.1 | Контроль по сырью |
| 1.8 | Мясо сублимационной и тепловой сушки | По п. 1.1 | По п. 1.1 | Контроль по сырью |
| 1.9 | Птица, в том числе полуфабрикаты свежие, охлажденные, замороженные (все виды убойной, промысловой и дикой птицы) | 180 | 80 | |
| 1.10 | Субпродукты птицы охлажденные, замороженные | По п. 1.9 | По п. 1.9 | |
| 1.11 | Колбасные изделия, копчености, кулинарные изделия из мяса птицы | По п. 1.9 | По п. 1.9 | Контроль по сырью |
| 1.12 | Мясопродукты с использованием субпродуктов птицы (паштеты, ливерные колбасы и др.) | По п. 1.9 | По п. 1.9 | Контроль по сырью |
| 1.13 | Консервы из мяса птицы, мясорастительные, в том числе паштетные | По п. 1.9 | По п. 1.9 | Контроль по сырью |
| 1.14 | Мясо птицы сублимационной и тепловой сушки | По п. 1.9 | По п. 1.9 | Контроль по сырью |
| 1.15 | Яйца и продукты их переработки | 80 | 50 | |
| 1.16 | Яичный порошок | По п. 1.15 | По п. 1.15 | Контроль по сырью |
| 2. | МОЛОКО И МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ | | | |
| 2.1 | Молоко — сырье, сливки — сырье, молоко пастеризованное, стерилизованное и топленое, сметана, кисло-молочные напитки | 50 | 25 | |
| 2.2 | Творог и творожные изделия | По п. 2.1 | По п. 2.1 | Контроль по сырью |

*Продолжение прилож. 3.3*

| Индекс | Группа товаров | Допустимые уровни, Бк/кг | | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| | | Cs-137 | Sr-90 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2.3 | Консервы молочные (молоко сгущенное и концентрированное) | 200 | 100 | |
| 2.4 | Продукты молочные сухие (молоко, сливки, смеси для мороженого) | 360 | 200 | |
| 2.5 | Концентраты молочных белков, казеин, казеинаты, гидролизаты молочных белков | 160 | 80 | |
| 2.6 | Сыры сычужные и плавленые | 50 | 100 | |
| 2.7 | Мороженое | По п. 2.1 | По п. 2.1 | Контроль |
| 2.8 | Масло коровье | 100 | 60 | по сырью |
| 3. | РЫБА, НЕРЫБНЫЕ ОБЪЕКТЫ ПРОМЫСЛА И ПРОДУКТЫ, ВЫРАБАТЫВАЕМЫЕ ИЗ НИХ | | | |
| 3.1 | Рыба живая, рыба-сырец, охлажденная, мороженая, фарш, филе | 130 | 100 | |
| 3.2 | Консервы и пресервы рыбные | По п. 3.1 | По п. 3.1 | Контроль по сырью |
| 3.3 | Рыба сушеная, вяленая | 260 | 200 | |
| | Рыба копченая, соленая, маринованная и др. рыбная продукция | По п. 3.1 | По п. 3.1 | |
| 3.4 | Икра и молоки рыб и продукты из них | По п. 3.1 | По п. 3.1 | Контроль по сырью |
| 3.5 | Печень рыб и продукты из нее | По п. 3.1 | По п. 3.1 | |
| 3.6 | Рыбий жир | 60 | 80 | |
| 3.7 | Нерыбные объекты промысла (моллюски, ракообразные, водоросли морские) | 200 | 100 | |
| 4. | ЗЕРНО (СЕМЕНА), МУКОМОЛЬНО-КРУПЯНЫЕ И ХЛЕБОБУЛОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ | | | |
| 4.1 | Зерно продовольственное, в т. ч. пшеница, рожь, тритикале, овес, ячмень, просо, гречиха, рис, кукуруза, сорго | 80 | 140 | |
| 4.2 | Семена зернобобовых, в т. ч. горох, фасоль, маш, чипа, чечевица, нут, соя | 60 | 100 | |
| 4.3 | Крупа, толокно, хлопья | 60 | 100 | |

*Продолжение прилож. 3.3*

| Индекс | Группа товаров | Допустимые уровни, Бк/кг | | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| | | Cs-137 | Sr-90 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4.4 | Мука пшеничная, в т. ч. для макаронных изделий, ржаная, тритикалевая, кукурузная, ячменная, просяная (пшенная), рисовая, гречневая, гороховая, сорговая, соевая | 60 | 100 | |
| 4.5 | Макаронные изделия | 60 | 80 | |
| 4.6 | Отруби пищевые (пшеничные, ржаные) | 80 | 140 | |
| 4.7 | Хлеб, булочные и сдобные изделия | 40 | 70 | |
| 4.8 | Бараночные, сухарные изделия, хлебные палочки, соломка и др. | 50 | 80 | |
| 5. | САХАР И КОНДИТЕРСКИЕ ИЗДЕЛИЯ | | | |
| 5.1 | Сахар | 140 | 100 | |
| 5.2 | Сахаристые кондитерские изделия: карамель, конфеты глазурованные и неглазурованные, помадные, сбивные, грильяжные, пралиновые, марципановые, фруктово-ягодные, ирис, халва, пастила, зефир, мармелад, желейные изделия | 140 | 100 | |
| 5.3 | Сахаристые кондитерские изделия: шоколад и изделия из него | По п. 5.1 | По п. 5.1 | Контроль по сырью |
| 5.4 | Какао-бобы и какао-продукты | 100 | 80 | |
| 5.5 | Мучные кондитерские изделия | 50 | 80 | |
| 5.6 | Мед | 100 | 80 | |
| 6. | ПЛОДООВОЩНАЯ ПРОДУКЦИЯ | | | |
| 6.1 | Свежие и свежезамороженные овощи, картофель, бахчевые, фрукты, ягоды, грибы: | | | |
| | картофель | 320 | 60 | |
| | овощи, бахчевые | 130 | 50 | |
| | фрукты, ягоды, виноград | 40 | 50 | |
| | грибы | 500 | 50 | |

*Продолжение прилож. 3.3*

| Индекс | Группа товаров | Допустимые уровни, Бк/кг | | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| | | Cs-137 | Sr-90 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6.2 | Сухие овощи, картофель, фрукты, ягоды, грибы: | | | |
| | картофель | 1200 | 240 | |
| | овощи, бахчевые | 600 | 240 | |
| | фрукты, ягоды, виноград | 200 | 240 | |
| | грибы | 2500 | 250 | |
| 6.3 | Консервы овощные, фруктовые, ягодные | По п. 6.1 | По п. 6.1 | Контроль по сырью |
| 6.4 | Консервы грибные | По п. 6.1 | По п. 6.1 | Контроль |
| 6.5 | Соки, напитки, концентраты овощные, фруктовые, ягодные (консервированные) соки: | | | по сырью |
| | соки, напитки | По п. 6.1 | По п. 6.1 | |
| | концентраты | 1200 | 240 | |
| 6.6 | Джемы, варенье, повидло, конфитюры, сиропы,плоды и ягоды, протертые с сахаром, и др. плодово-ягодные концентраты с сахаром | 80 | 70 | |
| 6.7 | Овощи и фрукты, грибы соленые, маринованные, квашеные, моченые | По п. 6.1 | По п. 6.1 | Контроль по сырью |
| 6.8 | Специи и пряности столовые (сухие) | 200 | 100 | |
| 6.9 | Орехи | 200 | 100 | |
| 6.10 | Чай (черный, зеленый, плиточный) | 400 | 100 | |
| 6.11 | Кофе (в зернах, молотый, растворимый) | 300 | 100 | |
| 7. | МАСЛИЧНОЕ СЫРЬЕ И ЖИРОВЫЕ ПРОДУКТЫ | | | |
| 7.1 | Семена масличных культур (подсолнечника, сои, хлопчатника, кукурузы, льна, горчицы, рапса, арахиса) | 70 | 90 | |
| 7.2 | Масло растительное (все виды) | 60 | 80 | |
| 7.3 | Продукты переработки растительных масел (маргарины, кулинарные жиры, кондитерские жиры, майонезы, фосфатидные концентраты) | По п. 7.2 | По п. 7.2 | Контроль по сырью |
| 7.4 | Жир-сырец говяжий, свиной, бараний и др. убойных животных (охлажденный, замороженный) | 60 | 80 | |
| | Шпик свиной охлажденный, замороженный, соленый, копченый | 100 | 50 | |

*Продолжение прилож. 3.3*

| Индекс | Группа товаров | Допустимые уровни, Бк/кг | | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| | | Cs-137 | Sr-90 | |
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* |
| 7.5 | Масло коровье | 100 | 60 | |
| 7.6 | Рыбий жир в качестве лечебно-профилактического средства (все виды) | 60 | 80 | |
| 8. | НАПИТКИ | | | |
| 8.1 | Питьевая вода, столовые, минеральные воды промышленного розлива ( в том числе искусственно минерализованные) | 8 | 8 | |
| 8.2 | Соки, напитки, концентраты овощные, фруктовые, ягодные (консервированные): | | | |
| | соки, напитки | По п. 6.1 | По п. 6.1 | |
| | концентраты | 1200 | 240 | |
| 8.3 | Напитки на эссенциях (безалкогольные) | 70 | 100 | |
| 8.4 | Напитки брожения: | | | |
| | хлебный квас на чистых культурах | | | |
| | хлебный квас на хлебопекарных дрожжах | 70 | 100 | |
| 9. | ДРУГИЕ ПРОДУКТЫ | | | |
| 9.1 | Изоляты, концентраты и гидролизаты растительных белков; мука и пищевой шрот из семян бобовых, масличных и нетрадиционных культур | 80 | 100 | |
| 9.2 | Концентраты молочных сывороточных белков, казеин, казеинаты, гидролизаты молочных белков | 160 | 80 | |
| 9.3 | Концентраты белков крови (сухой концентрат плазмы, сыворотки, альбумин пищевой) | 160 | 80 | |
| 9.4 | Пшеничные зародышевые хлопья и шрот из них | 80 | 140 | |
| 9.5 | Пектин, агар | 160 | 80 | |
| 9.6 | Желатин | 160 | 80 | |

*Окончание прилож. 3.3*

| Индекс | Группа товаров | Допустимые уровни, Бк/кг | | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| | | Cs-137 | Sr-90 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9.7 | Крахмал, патока и продукты их переработки | 400 | 100 | |
| 9.8 | Дрожжи пищевые, биомасса одноклеточных растений, бакпрепараты | 100 | 80 | |
| 9.9 | Бульоны пищевые сухие | 160 | 50 | |
| 9.10 | Ксилит, сорбит, маннит и др. сахароспирты | 200 | 100 | |
| 9.11 | Соль поваренная и лечебно-профилактическая | 300 | 100 | |
| 9.12 | Аминокислотные смеси | 200 | 100 | |

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.4

**Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства**

| № п/п | Наименование продукции | Величина ДУ, кБк/кг | | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| | | Цезий-137 | Стронций-90 | |
| 1 | ДРЕВЕСИНА НА КОРНЮ ДЛЯ ПРОДУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ | | | |
| 1.1 | Лесоматериалы круглые неокоренные: для производства пиломатериалов и заготовок, бруса, древесного технологического сырья, полуфабрикатов и изделий различного назначения, лыж, штакетника, драни штукатурной | 11,1 | 5,2 | Нормируется содержание $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ в коре. При превышении норматива вывоз с лесосеки неокоренной древесины не допускается |
| 1.2 | Лесоматериалы круглые окоренные: для производства продукции, указанной в п. 1.1 | 3,1 | 2,3 | |

*Окончание прилож. 3.4*

| № п/п | Наименование продукции | Величина ДУ, кБк/кг | | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| | | Цезий-137 | Стронций-90 | |
| 2 | ДРЕВЕСИНА НА КОРНЮ ДЛЯ ПРОДУКЦИИ ХОЗЯЙСТВЕННОГО И КУЛЬТУРНО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ | | | |
| 2.1 | Для машиностроения, сельскохозяйственных орудий, топорищ, черенков, граблей, наличников, деталей инструментов и других изделий из дерева, используемых в производственных и нежилых помещениях | 3,1 | 2,3 | |
| 2.2 | Для изготовления мебели, музыкальных инструментов, паркета, шкатулок и других изделий, используемых в быту, жилых и общественных помещениях | 2,2 | 0,52 | |
| 2.3 | Древесина дровяная топливная | 1,4 | 0,37 | |
| 2.4 | Древесина для строительства жилых помещений и домов: для изготовления бруса и бревен, досок половых и потолочных, балок, стропил и перекрытий, дверных и оконных рам и других изделий | 0,37 | 5,2 | |
| 3 | ВТОРОСТЕПЕННЫЕ ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ | | | |
| 3.1 | Пни сосновые, кора сосновая, еловая, дубовая и ивовая, береста промышленного назначения | 3,1 | 2,3 | |
| 3.2 | Береста культурно-бытового назначения | 2,2 | 0,52 | |
| 3.3 | Лапка хвойных пород для производства хвойно-витаминной муки и кормовых добавок и другая древесная зелень | 0,6 | 0,1 | |
| 3.4 | Лапка хвойных пород для ритуальных целей | 3,1 | 2,3 | |

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛ. 3

1. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения».

2. Федеральный закон «Об использовании атомной энергии».

3. Федеральный закон «Об охране окружающей среды».

4. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

5. ГОСТ 30108—94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов.

6. ГОСТ 8.496—83. ГСИ. Радиационная безопасность. Коэффициент качества ионизирующих излучений.

7. ГОСТ Р 50801—95. Древесное сырье, лесоматериалы. Методы измерения активности радионуклидов.

8. ГОСТ 4.59—79. СПКП. Средства измерений ионизирующих излучений. Номенклатура показателей.

9. ГОСТ 27451—87. Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия.

10. ГОСТ 29074—91. Аппаратура контроля радиационной обстановки. Общие требования.

11. РД 50-454-84. Методические указания. Внедрение и применение ГОСТ 8.417—81 «ГСИ. Единицы физических величин» в области ионизирующих излучений (в редакции 1990 г.).

12. ПР 50.2.009—94. ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений.

13. ПР 50.2.013—94. ГСИ. Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право аттестации методик выполнения измерений и проведения метрологической экспертизы документов.

14. МУ 2.6.1.14—2001. Контроль радиационной обстановки. Общие требования. Методические указания. ДБЧС МАЭ РФ, Федеральное управление «Медбиоэкстрем» Минздрава России, 2001.

15. МУ 2.6.1.016—2000. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования. Методические указания. ДБЧС МАЭ РФ, Федеральное управление «Медбиоэкстрем» Минздрава России, 2000.

16. МУ 2.6.1.25—2000. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования. Методические указания. ДБЧС МАЭ РФ, Федеральное управление «Медбиоэкстрем» Минздрава России, 2000.

17. МУ 2.6.1.26—2000. Дозиметрический контроль внутреннего профессионального облучения. Общие требования. Методические указания. ДБЧС МАЭ РФ, Федеральное управление «Медбиоэкстрем» Минздрава России, 2000.

18. МИ 2273—93. ГСИ. Области использования средств измерений, подлежащих поверке.

19. МИ 2143—91. ГСИ. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре.

20. МИ 46—75. ГСИ. Методика поверки радиометров аэрозолей для измерения концентрации и скрытой энергии естественных радиоактивных аэрозолей.

21. МИ 2011—89. ГСИ. Дозиметры гамма-нейтронного излучения ионизационные. Методика поверки.

22. МИ 2134—91. ГСИ. Измерители полевой эквивалентной дозы и мощности полевой эквивалентной дозы нейтронного излучения. Методика поверки.

23. Активность радионуклидов в объемных образцах: Методические рекомендации по выполнению измерений на сцинтилляционном гамма-спектрометре. — М., 1993 г.

24. Методика экспрессного определения объемной и удельной активности бета-излучающих нуклидов в воде, почве, продуктах питания, продукции растениеводства методом «прямого» измерения «толстых» проб. — М., 1991 г.

25. *Методика измерения активности бета-излучающих радионуклидов в* счетных образцах с использованием программного обеспечения «ПРОГРЕСС». — М.: ГП «ВНИИФТРИ», 1996.

26. Методика альфа-спектрометрических измерений удельной активности изотопов плутония в объектах окружающей среды с радиохимической подготовкой проб. — М., 1993.

27. Рекомендации МКРЗ / Публикация 6. Радиационная защита. — М.: Госатомиздат, 1961.

28. Рекомендации МКРЗ / Публикации 51, 52. Данные для использования при защите от внешнего излучения. Защита пациента в ядерной медицине. — М.: Энергоатомиздат, 1993 г.

29. Рекомендации МКРЗ / Публикация 60. — М.: Энергоатомиздат, 1994 г.

30. Рекомендации МКЗР / Публикация 65. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. — М.: Энергоатомиздат, 1995.

31. Ионизирующее излучение. Источники и биологические эффекты. НКДАР / Доклад за 1982 г. Генеральной ассамблее ООН (с приложениями). Нью-Йорк. — Т. 2. — 1982.

32. ICRU Report 47.

33. ICRU Report 51.

34. ICRU Report 60.

35. ГН 2.6.1.758—99. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99).

36. СП-2.6.1.799—99. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).

37. СанПиН 2.3.2.1078—03. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.

38. СанПиН 2.1.4.559—96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.

39. СанПиН 2.6.1.1192—03. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований.

40. СанПиН 2.6.1.1281—03. Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиактивных материалов (веществ).

41. СП 2.6.1.759—99. Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства.

42. МСанПиН 001—96. Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях.

43. МУК 2.6.1.760—99. Определение индивидуальных эффективных доз облучения пациентов при рентгенологических исследованиях с использованием измерителей произведения дозы на площадь. Методические указания по методам контроля.

44. Гусаров И.И., Иванов С.И. О защитных эффектах действия малых доз ионизирующих излучений (обзор литературы) // АНРИ. — № 4. — 2001. — С. 8—17.

45. Кочетков О.А., Кутьков В.А., Панфилов А.П. Методическое обеспечение введения в действие новых норм радиационной безопасности / В кн. «Методическое обеспечение радиационного контроля на предприятии». — М.: НПП «Доза» ВНИИФТРИ, 2000.

46. Методические рекомендации по аппаратурному оснащению региональных целевых программ «Радон» // АНРИ. — № 3/4. — 1995. — С. 23—40.

47. Маргулис У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1988.

48. Маргулис У.Я., Брегадзе Ю.И. Радиационная безопасность. Принципы и средства ее обеспечения. — М.: Эдиториал УРСС, 2000.

49. Нормы допустимых уровней гамма-излучения и радона на участке застройки // АНРИ. — № 3/4. — 1995. С. 105—114.

50. Павлов И.В. Рекомендации по составлению целевых программ снижения уровня облучения населения от природных радиоактивных источников (РЦП «Радон») // АНРИ. — № 1. — 1995. С. 60—61.

51. Эйдус Л.Х. Физико-химические основы радиобиологических процессов и защиты от излучений. — М.: Атомиздат, 1972.

# Глава 4. АКУСТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Д.З. Лопашев, Л.А. Борисов, В.А. Аистов

Акустический шум относится к распространенным физическим опасным и вредным факторам, влияющим на окружающую среду и людей. Измерения параметров этого фактора, его нормирование и контроль приобретают все большее значение; разработаны соответствующие международные и государственные стандарты; разработаны стандарты, устанавливающие технические требования на средства измерений и их поверку; в терминологических стандартах установлены термины и определения, измеряемые величины, единицы измерения и обозначения.

Стандарты по акустике разработаны Международной организацией по стандартизации (ИСО), Международной электротехнической комиссией (МЭК), Международной организацией законодательной метрологии (МОЗМ) и др.

Акустический шум нормируют и измеряют в звуковом диапазоне в октавных полосах частот 31,5—8000 Гц, в инфразвуковом диапазоне в октавных полосах частот 2—16 Гц и в ультразвуковом диапазоне в третьоктавных полосах частот 12,5—100 кГц.

## 4.1. Величины, используемые для характеристики степени воздействия акустического шума

Основные измеряемые величины и обозначения, используемые для характеристики воздействия акустического шума в современных стандартах, приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Основные измеряемые величины, используемые для характеристики воздействия акустического шума**

| № п/п | Наименование | Стандарт | Обозначение |
|---|---|---|---|
| 1 | Уровень звукового давления | ИСО 1999 | $L_p$ |
| 2 | Максимальный уровень звукового давления | ИСО 1999 | $L_{p,\,max}$ |
| 3 | Пиковый уровень звукового давления | МЭК 60651 | $L_{p,peak}$ |

*Продолжение табл 4 1*

| № п/п | Наименование | Стандарт | Обозначение |
|---|---|---|---|
| 4 | Октавный уровень звукового давления | — | $L_{p,okt}$ |
| 5 | Третьоктавный уровень звукового давления | — | $L_{p,\ 1/3okt}$ |
| 6 | Уровень звукового давления, усредненный по времени | ИСО 11200 | $L_{peq,T}$ |
| 7 | Уровень звука *A* (по характеристике *A*) | ИСО 1999 | $L_{pA}$ |
| 8 | Уровень звука *C* (по характеристике *C*) | ИСО 4869-1 | $L_{pC}$ |
| 9 | Пиковый уровень звука *C* (по характеристике *C*) | МЭК 60651 | $L_{pCpeak}$ |
| 10 | Максимальный уровень звука *A* при временной характеристике *F* | МЭК 61672-1 | $L_{AFmax}$ |
| 11 | Максимальный уровень звука *A* при временной характеристике *S* | МЭК 61672-1 | $L_{ASmax}$ |
| 12 | Максимальный уровень звука *C* при временной характеристике *F* | МЭК 61672-1 | $L_{CFmax}$ |
| 13 | Максимальный уровень звука *C* при временной характеристике *S* | МЭК 61672-1 | $L_{CSmax}$ |
| 14 | Эквивалентный уровень звука *A* при длительности *T* | МЭК 60804<br>ИСО 1999 | $L_{Aeq,T}$ |
| 15 | Процентный уровень звука *A* | ИСО 1996-1 | $L_{AN,T}$ |
| 16 | Нормируемый уровень звука *A* | ИСО 1996-1 | $L_{Ar}$ |
| 17 | Длительный средний нормируемый уровень звука *A* | ИСО 9612 | $L_{Ar,LT}$ |
| 18 | Эквивалентный уровень звука *A* за рабочии день | ИСО 11690-1<br>ИСО 9612 | $L_{pAeq,T}$ |
| 19 | Нормируемый уровень звука *A* для каждого интервала времени | ИСО 9612 | $L_{Ar,Tr}$ |
| 20 | Доза шума | ГОСТ 12 1.003 | $Д$ |
| 21 | Уровень интенсивности звука | ИСО 9614-1 | $L_I$ |
| 22 | Октавный уровень интенсивности звука | ИСО 9614-1 | $L_{Ioct}$ |
| 23 | Октавный уровень интенсивности звука (по характеристике *A*) | ИСО 9614-1 | $L_{IAoct}$ |
| 24 | Показатель уровня звукового давления – уровня остаточной интенсивности | ИСО 9614-1 | $\delta pI_o$ |
| 25 | Уровень звуковой мощности | ИСО 11690-1 | $L_W$ |
| 26 | Октавный уровень звуковой мощности | ИСО 11690-1 | $L_{Woct}$ |
| 27 | Корректированный уровень звуковой мощности | ИСО 11690-1 | $L_{WA}$ |

*Продолжение табл. 4.1*

| № п/п | Наименование | Стандарт | Обозначение |
|---|---|---|---|
| 28 | Экспозиция звука $A$ при длительности $T$ | ИСО 9612 | $E_{AT}$ |
| 29 | Экспозиция звука $A$ | МЭК 61672-1 | $E_A$ |
| 30 | Уровень экспозиции звука $A$ | МЭК 61672-1 | $L_{AE}$ |
| 31 | Уровень экспозиции звука $A$, отнесенный к 8-часовому рабочему дню | ИСО 9612 | $L_{EX,8h}$, $L_{AE,8h}$ |
| 32 | Уровень экспозиции звука $A$, отнесенный к 40-часовой рабочей неделе | ИСО 9612 | $L_{EX,W}$ $L_{AE,W}$ |
| 33 | Уровень экспозиции кратковременного звука $A$ | ИСО 10843 | $L_{AE,Ls}$ |
| 34 | Уровень воспринимаемого шума | ИСО 3891 | $L_{PN}$ |
| 35 | Изоляция от воздушного звука по звуковому давлению | ИСО 11546-2 | $D_p$ |
| 36 | Изоляция от воздушного звука по уровню звука $A$ | ИСО 11546-2 | $D_{pA}$ |
| 37 | Изоляция от воздушного звука по звуковой мощности | ИСО 11546-2 | $D_W$ |
| 38 | Изоляция от воздушного звука по корректированной звуковой мощности | ИСО 11546-2 | $D_{WA}$ |
| 39 | Звукоизоляция от воздушного звука | ИСО 11546-2 | $R$ |
| 40 | Приведенная разность уровней | ИСО 11546-2 | $D$ |
| 41 | Показатель изоляции от воздушного звука | ИСО 11546-2 | $R_W$ |
| 42 | Приведенный уровень ударного звука | ИСО 11546 | $L_p$ |
| 43 | Показатель приведенного уровня ударного звука | ИСО 11546-2 | $L_{pW}$ |
| 44 | Приведенная изоляция кабины по уровню звука $A$ | ИСО 11957 | $D_{pAe}$ |
| 45 | Корректированная изоляция от воздушного звука по звуковой мощности | ИСО 717-1 | $D_{WW}$ |
| 46 | Геометрическая расходимость звука | ИСО 9613-2 | $A_{div}$ |
| 47 | Ослабление звука при распространении | ИСО 9613-2 | $A$ |
| 48 | Уровень звуковой мощности в направлении на приемник звука | ИСО 9613-2 | $L_{W,Lm}$ |
| 49 | Эквивалентный октавный уровень звукового давления в направлении ветра | ИСО 9613-2 | $L_{fT(DW)}$ |

*Окончание табл 4 1*

| № п/п | Наименование | Стандарт | Обозначение |
|---|---|---|---|
| 50 | Эквивалентный октавный уровень звука в направлении ветра | ИСО 9613—2 | $L_{AT(DW)}$ |
| 51 | Звуковое давление | МЭК 61672 | $p$ |
| 52 | Звуковое давление по характеристике $A$ | МЭК 61672 | $p_A$ |
| 53 | Звуковое давление в октавной полосе частот | МЭК 50(801) | $p_{oct}$ |
| 54 | Колебательная скорость (частиц) | МЭК 50(801) | $v$ |
| 55 | Интенсивность звука | ИСО 9614—1 | $I$ |
| 56 | Интенсивность звука по характеристике $A$ | ИСО 9614—1 | $I_A$ |
| 57 | Звуковая мощность | ИСО 3740 | $W$ |
| 58 | Корректированная звуковая мощность (по характеристике $A$) | ИСО 3740 | $W_A$ |
| 59 | Звуковая мощность в октавной полосе частот | ИСО 3740 | $W_{oct}$ |
| 60 | Экспозиция звука при длительности $T_e$ | ИСО 1999 | $E_{A,Te}$ |
| 61 | Уровень импульсного звука | ГОСТ 17187 | $L_{AI}$ |

Уровни акустического шума определяют относительно опорных значений:

звукового давления $2 \cdot 10^{-5}$ Па = 20 мкПа;

интенсивности звука $10^{-12}$ Вт/м$^2$ = 1 пкВт/м$^2$;

звуковой мощности $10^{-12}$ Вт = 1 пкВт.

Из табл. 4.1 можно сделать следующие выводы:

1. Для целей санитарного нормирования наметилась тенденция измерять величины в дБ $A$: звукоизоляцию, уровень интенсивности звука, корректированный уровень звуковой мощности, уровень звука $A$, эквивалентный уровень звука $A$, экспозицию звука $A$, звуковое давление по характеристике $A$, корректированную звуковую мощность по характеристике $A$.

2. Для целей технического нормирования необходим спектральный анализ шума в октавных полосах частот в дБ.

3. Измерение спектра при санитарном нормировании, по-видимому, избыточно, так как номер предельного спектра для шума любого спектрального состава связан с уровнем звука $A$ простой зависимостью $L_{pA}$ = ПС + 5 дБ. Это позволяет существенно сократить объем работ при контроле санитарных норм и не измерять спектры шума, уменьшить потребность в измерительных приборах.

## 4.2. Механизм воздействия акустических факторов на организм человека

Повышенный шум является вредным физическим фактором окружающей среды, воздействие которого на людей при определенных условиях может привести к заболеванию или стойкому снижению работоспособности.

Понятие «шум» включает слышимый шум, а также звуковые колебания инфра- и ультразвуковых частот.

Особенности влияния шума на организм человека рассмотрены в предыдущей книге данной серии справочников [19] и в практическом руководстве по эколого-гигиенической оценке и контролю физических факторов [18]. Воздействие каждого фактора на человека зависит от интенсивности шума, спектрального состава, временных характеристик и продолжительности действия.

### 4.2.1. Воздействие слышимого шума

Шум с уровнем звукового давления 100 — 120 дБ на низких частотах и 80 — 90 дБ в среднем и высокочастотном диапазонах приводит к временному повышению порога слышимости, который при постоянном воздействии в течение 10 лет переходит в необратимое снижение слуха. При этих уровнях шума требуется больше физических и нервно-психических усилий, чем при уровне звукового давления ниже 70 дБ. Это приводит к быстрой утомляемости, снижению концентрации внимания, и, как следствие, производительности труда, служит причиной увеличения брака и числа случаев производственного травматизма. Перенапряжение центральной нервной системы в процессе труда и отдыха вызывает такие серьезные болезни, как гипертоническая и язвенная, желудочно-кишечные и кожные, неврозы.

Шум вызывает тугоухость. Основным признаком тугоухости служит сильное понижение чувствительности слуха на частотах 500, 1000 и 2000 Гц, не менее 25 дБ по сравнению с соответствующим средним уровнем по стандарту ИСО 389. В руководстве [18] шумовую болезнь определяют как общее заболевание организма с преимущественным поражением органа слуха, центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, развивающееся в результате длительного воздействия интенсивного шума.

### 4.2.2. Воздействие инфразвука

Инфразвук неблагоприятно действует на организм, особенно на психоэмоциональную сферу, влияет на работоспособность, сердеч-

но-сосудистую, эндокринную и другие системы [23], особенно на частотах около 7 Гц (резонанс грудной клетки и брюшной полости). При разности уровней ($L_{Лин} - L_A$) менее 10 дБ уровни инфразвука незначительные, при разности от 11 до 20 дБ — имеет место инфразвук низких уровней, более 21 дБ — уровни инфразвука значительные [18].

#### 4.2.3. Воздействие ультразвука

При воздействии ультразвука в диапазоне октавных частот 16—63 кГц с уровнями, превышающими предельно допустимые, могут наблюдаться функциональные изменения центральной и периферической нервной системы, сердечно-сосудистой, эндокринной систем, слухового и вестибулярного анализаторов, гормональные нарушения. Наиболее характерным является наличие вегетососудистой дистонии и астенического синдрома [18].

## 4.3. Нормирование слышимого шума, инфразвука и ультразвука

#### 4.3.1. Нормирование слышимого шума

В основу нормирования положен принцип предельных спектров и значений уровней звука *А* в дБ *А*.

Под предельным спектром понимают предельно допустимые значения уровня звукового давления в октавных полосах частот. Номер предельного спектра соответствует значению уровня звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц. Каждому предельному спектру соответствуют определенные значения уровней звукового давления в октавных полосах частот.

Уровнем звука называют уровень, измеряемый по шкале шумомера при включении в нем частотных коррекций *А, С* или линейной характеристики «Лин» и временных характеристик *F* («быстро»), *S* («медленно»), *I* («импульс») или *Пик*. Например, уровень звука *А*, $L_{pA}$ в дБ *А*.

Предельно допустимое значение уровня звука *А* связано с предельным спектром зависимостью $L_{pA} = ПС + 5$. Из этой зависимости следует, что для целей санитарного нормирования достаточно измерять и нормировать уровень звука в дБ *А* и отказаться от спектрального анализа, который нужно применять лишь для технического нормирования шума. Нормирование уровней шума проводится в зависимости от установленной в ГОСТ 12.1.003 классификации шумов по спектральному составу и временным характеристикам.

По характеру спектра шумы подразделяют на широкополосные с непрерывным спектром шириной более одной октавы и тональные, в спектре которых имеются слышимые дискретные тона, превышающие уровень звукового давления в соседних полосах частот не менее чем на 10 дБ.

По временным характеристикам шумы подразделяют на постоянные и непостоянные в зависимости от изменения во времени уровня звука *А*. При изменении уровня звука, измеренного на временно́й характеристике медленно, не более чем на 5дБ *А*, шум считают постоянным, в противном случае – непостоянным.

Непостоянные шумы подразделяют на следующие:

колеблющиеся во времени, уровень звука *А* которых непрерывно меняется во времени;

прерывистые, уровень звука *А* которых ступенчато изменяется на 5 дБ *А* и более, причем длительность интервалов, в течение которых уровень звука остается постоянным, составляет не менее 1 с;

импульсные, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука *А*, измеренные в дБ *А* и дБ *АI*, при включении характеристик шумомера «медленно» (*S*) и «импульс» (*I*), отличаются не менее 7 дБ.

Для постоянного шума нормируют уровни звукового давления в октавных полосах частот 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц, а также уровень звука *А*.

Для непостоянного шума нормируют эквивалентный уровень звука *А*, $L_{pAeq}$. Дополнительно для колеблющегося во времени и прерывистого шума ограничивают максимальные уровни звука, измеренные на временной характеристике «медленно», а для импульсного шума – максимальный уровень звука *А*, измеренный на временной характеристике «импульс».

Международный институт по борьбе с шумом *INCE* рекомендует в качестве нормативной характеристики импульсного шума уровень звука *С* в дБ *С*. Эта величина включена в стандарт ИСО 4871 для декларирования шумовых характеристик.

Мерой воздействия шума является доза шума *Д*, $Па^2 \cdot ч$, которая отражает количество энергии, передаваемой за время действия шума *Т* с учетом коррекции *А* шумомера.

На практике используют относительное значение дозы шума $Д_ш$ в долях от допустимой $Д_{доп} = p^2_{Адоп} \cdot T_{доп} = 0{,}32$ $Па^2 \cdot ч$ ($p_{Адоп.} = 0{,}2$ Па, соответствует уровню шума 80 дБ *А*, $T_{доп} = 8$ ч).

Эквивалентный уровень звука и доза шума связаны зависимостью ($L_{pAeq} = 10\ lg\ Д_ш$) [18].

Основной характеристикой источника шума является уровень звуковой мощности в октавных полосах частот: 31,5; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц. Методы определения уровня звуковой мощности установлены в стандартах ГОСТ 23941, ГОСТ 12.1.024 — ГОСТ 12.1.028, ГОСТ 27243, ГОСТ 30457, ГОСТ Р 51400, ГОСТ 51402, а также в международных стандартах серий ИСО 3740 и ИСО 9614.

Уровень звуковой мощности в полосах частот выражают в дБ, а корректированный уровень звуковой мощности — в дБ*А*.

В международном стандарте ИСО 4871 вводятся также уровни звука излучения *А* и *С*, создаваемые источником шума на рабочем месте и в других заданных точках. Методы определения уровня звука излучения *А* установлены в серии стандартов ИСО 11200 и ГОСТ 30683 (ИСО 11204).

В руководстве [18] вводится суммарная доза шума, позволяющая *оценить кумуляцию шумового воздействия на работе и во время отдыха* (ночного и дневного) и, при необходимости, за неделю, месяц, год.

***Нормирование городского шума (СН 2.2.4/2.1.8.562 — 96)***

В разных странах установлены свои национальные нормы допустимого шума для различных ситуаций в городской застройке и при разных видах источников городского шума. Между этими нормами есть отдельные совпадения, но немало и отличий. Поэтому какие-либо единые международные нормы городского шума отсутствуют.

В настоящее время в нашей стране основополагающим нормативным документом в этой области являются санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562—96, а в Москве, кроме того, Московские городские строительные нормы МГСН 2.04—97 (утверждены Правительством Москвы постановлением от 06.05.97 № 325).

В СН 2.2.4/2.1.8.562—96 констатируется, что данные нормы «являются обязательными для всех организаций и юридических лиц на территории Российской Федерации независимо от форм собственности, подчинения и принадлежности и физических лиц независимо от гражданства. Ссылки на требования санитарных норм должны быть учтены в Государственных стандартах и во всех нормативно-технических документах...».

Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562—96 дают определения основных измеряемых величин, применяемых при нормировании шума в городской среде:

звуковое давление, Па;

эквивалентный (по энергии) уровень звука $A$ непостоянного шума, дБ $A$;

предельно допустимый уровень звука $A$, дБ $A$ (это уровень, который при ежедневной, кроме выходных дней, работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья);

допустимый уровень звука $A$, дБ $A$ (это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем анализаторов, чувствительных к шуму);

максимальный уровень звука $A$, дБ $A$.

В первой части стандарта ИСО 1996/1 устанавливаются основные величины, служащие для количественного описания шума окружающей среды, и приводятся методы измерения этих величин. К ним относятся следующие:

звуковое давление, определенное при использовании частотной коррекции $A$, Па;

уровень звукового давления, дБ, относительно опорного звукового давления $p_0 = 20$ мкПа;

уровень звука $A$, дБ $A$;

процентный уровень — уровень звука $A$, дБ $A$, измеренный на временной характеристике шумомера $F$ («быстро») и превышаемый в течение $N$ % времени измерений;

эквивалентный уровень звука $A$, дБ $A$;

уровень звуковой экспозиции, дБ;

измерительный временной интервал — интервал времени, в течение которого осуществляются интегрирование и усреднение среднеквадратичных значений звукового давления;

базовый интервал времени — интервал времени, к которому должен быть отнесен эквивалентный уровень звукового давления; он должен охватывать типичные периоды деятельности человека и вариации в работе источника шума;

длительный интервал времени — установленный интервал времени, для которого результаты измерений шума являются репрезентативными; длительный интервал времени состоит из ряда базовых интервалов времени и служит для целей описания шума окружающей среды, он обычно устанавливается директивными органами;

средний уровень звука за длительный интервал времени — среднее из эквивалентных уровней звука для серии базовых интервалов времени, заключенных в пределах длительного интервала времени;

оценочный уровень звука — эквивалентный уровень звука в течение установленного интервала времени из оценочных уровней для серии базовых интервалов времени.

Санитарные нормы дают классификацию шумов по характеру спектра (широкополосный, тональный), по временным характеристикам (постоянный, непостоянный — колеблющийся во времени, прерывистый, импульсный) и устанавливают нормируемые параметры и допустимые уровни шума в помещениях жилых, общественных зданий различного назначения и на территории жилой застройки.

Нормируемыми параметрами постоянного шума являются уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне 31,5—8000 Гц. Для ориентировочной оценки допускается использовать уровни звука *A*, дБ *A*.

Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные (по энергии) уровни звука *A*, дБ *A* и максимальные уровни звука *A*, дБ *A*. Оценка непостоянного шума на соответствие допустимым уровням должна проводиться одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука.

СН 2.2.4/2.1.8.562—96 содержат табл. 3 (в книге — табл. 4.2), в которой указаны типы помещений жилых и общественных зданий и участков селитебных территорий и приведены допустимые значения октавных уровней звукового давления, эквивалентных и максимальных уровней звука в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки. В этих санитарных нормах установлены также поправки к табличным значениям для тонального и импульсного шума (—5 дБ *A*), для шума систем кондиционирования воздуха, воздушного отопления, вентиляции и другого инженерно-технологического оборудования (—5 дБ *A*), для эквивалентных и максимальных уровней звука, создаваемого средствами автомобильного и железнодорожного транспорта в 2 м от ограждающих конструкций первого эшелона шумозащитных типов жилых зданий, зданий гостиниц, общежитий, обращенных в сторону магистральных улиц общегородского и районного значения, железных дорог (+10 дБ *A*).

В санитарных нормах в отличие от старых норм не содержится поправка на месторасположение здания, что в ряде случаев ужесточает нормы городского шума.

Таблица 4.2

**Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки**

| № п/п | Назначение помещений или территорий | Время суток, ч | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | Уровни звука $L_A$ и эквивалентные уровни звука $L_{Аэкв}$, дБ $A$ | Максимальные уровни звука $L_{Амакс}$, дБ $A$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | | |
| 1 | Палаты больниц и санаториев, операционные больниц | с 7 до 23 | 76 | 59 | 48 | 40 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 | 35 | 50 |
| | | с 23 до 7 | 69 | 51 | 39 | 31 | 24 | 20 | 17 | 14 | 13 | 25 | 40 |
| 2 | Кабинеты врачей поликлиник, амбулаторий, диспансеров, больниц, санаториев | | 76 | 59 | 48 | 40 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 | 35 | 50 |
| 3 | Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и других учебных заведений, конференцзалы, читальные залы библиотек | | 79 | 63 | 52 | 45 | 39 | 35 | 32 | 30 | 28 | 40 | 55 |
| 4 | Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах | с 7 до 23 | 79 | 63 | 52 | 45 | 39 | 35 | 32 | 30 | 28 | 40 | 55 |
| | | с 23 до 7 | 72 | 55 | 44 | 35 | 29 | 25 | 22 | 20 | 18 | 30 | 45 |

*Продолжение табл. 4.2*

| № п/п | Назначение помещений или территорий | Время суток, ч | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | Уровни звука $L_A$ и эквивалентные уровни звука $L_{Аэкв}$, дБ $A$ | Максимальные уровни звука $L_{Амакс}$ дБ $A$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | | |
| 5 | Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий | с 7 до 23<br>с 23 до 7 | 83<br>76 | 67<br>59 | 57<br>48 | 49<br>40 | 44<br>34 | 40<br>30 | 37<br>27 | 35<br>25 | 33<br>23 | 45<br>35 | 60<br>50 |
| 6 | Залы кафе, ресторанов, столовых | | 90 | 75 | 66 | 59 | 54 | 50 | 47 | 45 | 44 | 55 | 70 |
| 7 | Торговые залы магазинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания | | 93 | 79 | 70 | 63 | 59 | 55 | 53 | 51 | 49 | 60 | 75 |
| 8 | Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев | с 7 до 23<br>с 23 до 7 | 83<br>76 | 67<br>59 | 57<br>48 | 49<br>40 | 44<br>34 | 40<br>30 | 37<br>27 | 35<br>25 | 33<br>23 | 45<br>35 | 60<br>50 |
| 9 | Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек | с 7 до 23<br>с 23 до 7 | 90<br>83 | 75<br>67 | 66<br>57 | 59<br>49 | 54<br>44 | 50<br>40 | 47<br>37 | 45<br>35 | 44<br>33 | 55<br>45 | 70<br>60 |

*Продолжение табл. 4.2*

| № п/п | Назначение помещений или территорий | Время суток, ч | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | Уровни звука $L_A$ и эквивалентные уровни звука $L_{Аэкв}$, дБ $A$ | Максимальные уровни звука $L_{Амакс}$, дБ $A$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | | |
| 10 | Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий | с 7 до 23<br>с 23 до 7 | 93<br>86 | 79<br>71 | 70<br>61 | 63<br>54 | 59<br>49 | 55<br>45 | 53<br>42 | 51<br>40 | 49<br>39 | 60<br>50 | 75<br>65 |
| 11 | Площадки отдыха на территории больниц и санаториев | | 76 | 59 | 48 | 40 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 | 35 | 50 |
| 12 | Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений | | 83 | 67 | 57 | 49 | 44 | 40 | 37 | 35 | 33 | 45 | 60 |

Примечания

1. Допустимые уровни шума от внешних источников в помещениях устанавливаются при условии обеспечения нормативной вентиляцией помещений (для жилых помещений, палат, классов — при открытых форточках, фрамугах, узких створках окон).

2. Эквивалентные и максимальные уровни звука в дБ $A$ для шума, создаваемого на территории средствами автомобильного, железнодорожного транспорта, в 2 м от ограждающих конструкций первого эшелона шумозащитных типов жилых зданий, зданий гостиниц, общежитий, обращенных в сторону магистральных улиц общегородского и районного значения, железных дорог, допускается принимать на 10 дБ $A$ выше (поправка $\Delta$=+10 дБ $A$), указанных в пунктах 9 и 10 таблицы.

3 Уровни звукового давления в октавных полосах частот в дБ, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБ *А* для шума, создаваемого в помещениях и на территориях, прилегающих к зданиям, системами кондиционирования воздуха, воздушного отопления и вентиляции и другим инженерно-технологическим оборудованием, следует принимать на 5 дБ *А* ниже (поправка Δ=—5 дБ *А*), указанных в таблице (поправку для тонального и импульсного шума в этом случае принимать не следует).

4. Для тонального и импульсного шума следует принимать поправку — 5 дБ *А*.

***Нормирование шума и звукоизоляции в Москве (МГСН 2.04-97)***

Допустимые уровни проникающего шума и требования к звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий в Москве установлены в МГСН 2.04—97.

Нормативные требования к допустимому шуму и звукоизоляции ограждающих конструкций в жилых и общественных зданиях г. Москвы установлены для категорий:

категория А — высококомфортные условия;

категория Б — комфортные условия;

категория В — предельно допустимые условия.

Категория здания устанавливается техническим заданием на проектирование. Категория Б рекомендуется для массового строительства.

Нормируемыми параметрами постоянного шума являются уровни звукового давления $L$, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц (октавные уровни звукового давления).

Для ориентировочной оценки допускается использовать уровни звука $L_A$, дБ *А*.

Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные (по энергии) уровни звука $L_{A\text{экв}}$, дБ *А*, и максимальные уровни звука $L_{A\max}$, дБ *А*.

Оценка непостоянного шума на соответствие допустимым уровням должна проводиться одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука.

Допустимые значения октавных уровней звукового давления, уровней звука, эквивалентных и максимальных уровней звука проникающего шума в помещениях жилых и массовых зданий общественного назначения приведены в табл. 4.3.

Нормативные требования к звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий приведены в табл. 4.4, а к звукоизоляции окон в табл. 4.5.

Таблица 43

**Допустимые уровни проникающего шума**

| № п/п | Назначение помещении | Время суток, ч | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | Уровни звука $A$, $L_A$ и экв уровни звука $L_{A\text{экв}}$, дБ $A$ | Максимальные уровни $L_{A\max}$, дБ $A$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | | |
| 1 | Жилые комнаты квартир | | | | | | | | | | | |
| | в домах категории А | 7—23 | 59 | 48 | 40 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 | 35 | 50 |
| | | 23—7 | 51 | 39 | 31 | 24 | 20 | 17 | 14 | 13 | 25 | 40 |
| | в домах категории Б | 7—23 | 63 | 52 | 45 | 39 | 35 | 32 | 30 | 28 | 40 | 55 |
| | и В | 23—7 | 55 | 44 | 35 | 29 | 25 | 22 | 20 | 18 | 30 | 45 |
| 2 | Жилые комнаты общежитий | 7—23 | 67 | 57 | 49 | 44 | 40 | 37 | 35 | 33 | 45 | 60 |
| | | 23—7 | 59 | 48 | 40 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 | 35 | 50 |
| 3 | Номера гостиниц: | | | | | | | | | | | |
| | категории А | 7—23 | 59 | 48 | 40 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 | 35 | 50 |
| | | 23—7 | 51 | 39 | 31 | 24 | 20 | 17 | 14 | 13 | 25 | 40 |
| | категории Б | 7—23 | 63 | 52 | 45 | 39 | 35 | 32 | 30 | 28 | 40 | 55 |
| | | 23—7 | 55 | 44 | 35 | 29 | 25 | 22 | 20 | 18 | 30 | 45 |
| | категории В | 7—23 | 67 | 57 | 49 | 43 | 40 | 37 | 35 | 33 | 45 | 60 |
| | | 23—7 | 59 | 48 | 40 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 | 35 | 50 |
| 4 | Жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах | 7—23 | 63 | 52 | 45 | 39 | 35 | 32 | 30 | 28 | 40 | 55 |
| | | 23—7 | 55 | 44 | 35 | 29 | 25 | 22 | 20 | 18 | 30 | 45 |

*Продолжение табл. 4.3*

| № п/п | Назначение помещений | Время суток, ч | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | Уровни звука $A$, $L_A$ и экв. уровни звука $L_{Aэкв}$, дБ $A$ | Максимальные уровни $L_{Amax}$, дБ $A$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | | |
| 5 | Помещения офисов, рабочие помещения, кабинеты в административных зданиях, конструкторских, проектных и научно-исследовательских организациях: | | | | | | | | | | | |
| | категории А | | 67 | 57 | 49 | 43 | 40 | 37 | 35 | 33 | 45 | 60 |
| | категорий Б и В | | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | 50 | 65 |
| 6 | Палаты больниц и санаториев | 7—23 | 59 | 48 | 40 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 | 35 | 50 |
| | | 23—7 | 51 | 39 | 31 | 24 | 20 | 17 | 14 | 13 | 25 | 40 |
| 7 | Операционные больниц | | 55 | 44 | 35 | 29 | 25 | 22 | 20 | 18 | 30 | 45 |
| 8 | Кабинеты врачей медицинских учреждений | | 59 | 48 | 40 | 34 | 30 | 27 | 25 | 23 | 35 | 50 |
| 9 | Классные помещения, учебные кабинеты, аудитории учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек, зрительные залы клубов, кинотеатров, культовые здания | | 63 | 52 | 45 | 39 | 35 | 32 | 30 | 28 | 40 | 55 |

*Окончание табл. 4.3*

| № п/п | Назначение помещений | Время суток, ч | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | Уровни звука $A$, $L_A$ и экв. уровни звука $L_{Aэкв}$, дБ $A$ | Максимальные уровни $L_{Amax}$, дБ $A$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | | |
| 10 | Залы кафе, ресторанов, столовых, фойе театров и кинотеатров: | | | | | | | | | | | |
| | категории А | | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | 50 | 60 |
| | категории Б и В | | 75 | 66 | 59 | 54 | 50 | 47 | 45 | 43 | 55 | 65 |
| 11 | Торговые залы магазинов пассажирские залы вокзалов и аэропортов, спортивные залы | | 79 | 70 | 63 | 58 | 55 | 52 | 50 | 49 | 60 | 70 |

Примечания

1. Допустимые уровни шума от внешних транспортных источников в помещениях (пп.1,2,3,5,6,8—11), окна которых выходят на улицы и дороги, могут быть приняты на 5 дБ выше значений, указанных в табл. 4.3, т. е. с поправкой +5 дБ (дБ $A$).

2. Допустимые уровни шума от внешних источников в жилых помещениях устанавливаются при условии обеспечения нормативного воздухообмена помещений, т.е. при отсутствии принудительной системы кондиционирования воздуха или системы приточно-вытяжной вентиляции — при открытых форточках или иных устройствах, обеспечивающих приток воздуха.

3. При тональном и (или) импульсном характере проникающего шума допустимые уровни звукового давления, уровни звука $A$, эквивалентные уровни звука $A$, следует принимать на 5 дБ (дБ $A$) ниже указанных в табл. 4.3 значений, т. е. с поправкой —5 дБ (дБ $A$).

4. Допустимые уровни шума от оборудования систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления, а также от насосов систем отопления и водоснабжения и холодильных установок встроенных (пристроенных) предприятий торговли и общественного питания следует принимать на 5 дБ (5 дБ $A$) ниже указанных в табл. 4.3 значений, т. е. с поправкой −5 дБ (дБ $A$). При этом поправка на тональность не учитывается.

Таблица 44

**Нормативные требования к звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий**

| № п/п | Наименование и расположение ограждающих конструкции | $R_w$, дБ | $L_{pw}$, дБ |
|---|---|---|---|
| | ЖИЛЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ | | |
| 1 | Перекрытия между помещениями квартир и отделяющие помещения квартир от холлов и используемых чердачных помещений | | |
| | в домах категории А | 54 | 55 |
| | в домах категории Б | 52 | 58 |
| | в домах категории В | 50 | 60 |
| 2 | Перекрытия между помещениями квартир и расположенными под ними магазинами: | | |
| | в домах категории А | 59 | 55 |
| | в домах категорий Б и В | 57 | 58 |
| 3 | Перекрытия между комнатами в квартире в двух уровнях: | | |
| | в домах категории А | 47 | 63 |
| | в домах категории Б | 45 | 66 |
| | в домах категории В | 43 | 68 |
| 4 | Перекрытия между жилыми помещениями общежитий | 50 | 60 |
| 5 | Перекрытия, отделяющие помещения культурно-бытового обслуживания общежитий друг от друга и от помещений общего пользования (холлы, вестибюли и пр.) | 47 | 65 |
| 6 | Стены и перегородки между квартирами, между помещениями квартир и лестничными клетками, холлами, коридорами, вестибюлями | | |
| | в домах категории А | 54 | — |
| | в домах категории Б | 52 | — |
| | в домах категории В | 50 | — |
| 7 | Стены между помещениями квартир и магазинами: | | |
| | в домах категории А | 59 | — |
| | в домах категории Б и В | 57 | — |
| 8 | Перегородки между комнатами, между кухней и комнатой в квартире | 43 | — |

*Продолжение табл. 4.4.*

| № п/п | Наименование и расположение ограждающих конструкций | $R_w$, дБ | $L_{pW}$, дБ |
|---|---|---|---|
| 9 | Стены и перегородки между комнатами общежитий | 50 | — |
| 10 | Стены и перегородки, отделяющие помещения культурно-бытового обслуживания общежитий друг от друга и от помещений общего пользования (холлы, вестибюли, лестничные клетки) | 47 | — |
| 11 | Стены с дверью между квартирой и лестничной клеткой: | | |
| | в домах категории А | 35 | — |
| | в домах категории Б | 32 | — |
| | в домах категории В | 30 | — |
| | ГОСТИНИЦЫ | | |
| 12 | Перекрытия между номерами: | | |
| | категории А | 52 | 57 |
| | категории Б | 50 | 60 |
| | категории В | 48 | 62 |
| 13 | Перекрытия, отделяющие номера от помещений общего пользования (вестибюли, холлы, буфеты) | | |
| | категории А | 54 | 55 |
| | категорий Б и В | 52 | 58 |
| 14 | Перекрытия, отделяющие номера от помещений ресторанов, кафе: | | |
| | категории А | 62 | 57 |
| | категорий Б и В | 59 | 60 |
| 15 | Стены и перегородки между номерами | | |
| | категории А | 52 | — |
| | категории Б | 50 | — |
| | категории В | 48 | — |
| 16 | Стены и перегородки, отделяющие номера от помещений общего пользования (лестничные клетки, вестибюли, холлы, буфеты): | | |
| | категории А | 54 | — |
| | категорий Б и В | 52 | — |
| 17 | Стены и перегородки, отделяющие номера от ресторанов, кафе: | | |
| | категории А | 62 | — |
| | категорий Б и В | 59 | — |

*Продолжение табл. 4.4.*

| № п/п | Наименование и расположение ограждающих конструкций | $R_w$, дБ | $L_{pW}$, дБ |
|---|---|---|---|
| | **АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ЗДАНИЯ, ОФИСЫ** | | |
| 18 | Перекрытия между рабочими комнатами, кабинетами, секретариатом и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования (вестибюли, холлы): | | |
| | категории А | 52 | 63 |
| | категорий Б и В | 50 | 66 |
| 19 | Перекрытия, отделяющие рабочие комнаты, кабинеты от помещений с источниками шума (машбюро, телетайпные и т.п.): | | |
| | категории А | 54 | 60 |
| | категорий Б и В | 52 | 63 |
| 20 | Стены и перегородки между кабинетами и отделяющие кабинеты от рабочих комнат: | | |
| | категории А | 51 | — |
| | категорий Б и В | 49 | — |
| 21 | Стены и перегородки между рабочими комнатами: | | |
| | категории А | 47 | — |
| | категорий Б и В | 45 | — |
| 22 | Стены и перегородки, отделяющие рабочие комнаты от помещений общего пользования (вестибюли, холлы, буфеты) и от помещений с источниками шума (машбюро, телетайпные и т.п.): | | |
| | категории А | 50 | — |
| | категорий Б и В | 48 | — |
| 23 | Стены и перегородки, отделяющие кабинеты от помещений общего пользования и шумных помещений | | |
| | категории А | 54 | — |
| | категорий Б и В | 52 | — |
| | **БОЛЬНИЦЫ И САНАТОРИИ** | | |
| 24 | Перекрытия между палатами, кабинетами врачей | 47 | 60 |

*Продолжение табл. 4.4.*

| № п/п | Наименование и расположение ограждающих конструкций | $R_w$, дБ | $L_{pw}$, дБ |
|---|---|---|---|
| 25 | Перекрытия между операционными и отделяющие операционные от палат и кабинетов | 57 | 60 |
| 26 | Перекрытия, отделяющие палаты, кабинеты врачей от помещений общего пользования (вестибюли, холлы) | 52 | 63 |
| 27 | Перекрытия, отделяющие палаты, кабинеты врачей от столовых, кухонь | 57 | 50 |
| 28 | Стены и перегородки между палатами, кабинетами врачей | 47 | — |
| 29 | Стены и перегородки между операционными и отделяющие операционные от других помещений | | |
| | Стены и перегородки, отделяющие палаты и кабинеты от столовых и кухонь | 57 | — |
| 30 | Стены и перегородки, отделяющие палаты и кабинеты от помещений общего пользования | 52 | — |
| | УЧЕБНЫЕ ЗАВЕДЕНИЯ | | |
| 31 | Перекрытия между классами, кабинетами, аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования (коридоры, вестибюли, холлы) | 47 | 63 |
| 32 | Перекрытия между музыкальными классами средних учебных заведений | 57 | 58 |
| 33 | Перекрытия между музыкальными классами высших учебных заведений | 60 | 53 |
| 34 | Стены и перегородки между классами, кабинетами и аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования | 47 | — |
| 35 | Стены и перегородки между музыкальными классами средних учебных заведений и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования | 57 | — |
| 36 | Стены и перегородки между музыкальными классами высших учебных заведений | 60 | — |

*Окончание табл. 4.4*

| № п/п | Наименование и расположение ограждающих конструкций | $R_w$, дБ | $L_{pW}$, дБ |
|---|---|---|---|
| | ДЕТСКИЕ ДОШКОЛЬНЫЕ УЧРЕЖДЕНИЯ | | |
| 37 | Перекрытия между групповыми комнатами, спальнями | 47 | 63 |
| 38 | Перекрытия, отделяющие групповые комнаты, спальни от кухонь | 51 | 63 |
| 39 | Стены и перегородки между групповыми комнатами, спальнями и между другими детскими комнатами | 47 | — |
| 40 | Стены и перегородки, отделяющие групповые комнаты, спальни от кухонь | 51 | — |

Примечание — К гостиницам категории А относятся гостиницы, имеющие по международной классификации четыре и пять звезд, к категории Б — три звезды, к категории В — менее трех звезд.

Таблица 4.5

**Нормативные требования к звукоизоляции окон**

| № п/п | Наименование помещений | Требуемые значения $R_{A\text{тран}}$ в дБ $A$ при эквивалентных уровнях звука у фасада здания в дБ $A$ при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час пик) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 60 | 65 | 70 | 75 |
| 1 | Палаты больниц, санаториев, кабинеты медицинских учреждений | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 2 | Жилые комнаты квартир в домах: | | | | |
| | категории А | 15 | 20 | 25 | 30 |
| | категорий Б и В | — | 15 | 20 | 25 |
| 3 | Жилые комнаты общежитий | — | — | 15 | 20 |
| 4 | Номера гостиниц: | | | | |
| | категории А | 15 | 20 | 25 | 30 |
| | категории Б | — | 15 | 20 | 25 |
| | категории В | — | — | 15 | 20 |
| 5 | Жилые помещения домов отдыха, домов-интернатов для инвалидов | 15 | 20 | 25 | 30 |

*Окончание табл. 4.5*

| № п/п | Наименование помещений | Требуемые значения $R_{Атран}$ в дБ *А* при эквивалентных уровнях звука у фасада здания в дБ *А* при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час пик) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 60 | 65 | 70 | 75 |
| 6 | Рабочие комнаты, кабинеты в административных зданиях и офисах: | | | | |
| | категории А | | | 15 | 20 |
| | категорий Б и В | — | — | — | 15 |

***Нормирование шума автомобильного транспорта (ГОСТ Р 41.51—99, ГОСТ Р 51616—2000)***

Наиболее распространенным и значительно ухудшающим экологическое состояние городской среды является шум автомобильного транспорта.

ГОСТ Р 41.51—99 устанавливает предельные значения наружного шума для различных категорий транспортных средств, приведенные в табл. 4.6.

Таблица 4.6

**Предельные значения наружного шума автомобильного транспорта по ГОСТ Р 41.51—99**

| Категории транспортных средств | Предельные значения, дБ *А* |
|---|---|
| Транспортные средства для перевозки пассажиров, которые могут иметь не более девяти сидячих мест, включая место водителя | 74 |
| Транспортные средства для перевозки пассажиров, которые имеют более девяти сидячих мест, включая место водителя, и максимально разрешенная масса которых превышает 3,5 т: | |
| с двигателем мощностью менее 150 кВт (ЕЭК) | 78 |
| с двигателем мощностью 150 кВт (ЕЭК) или более | 80 |
| Транспортные средства для перевозки пассажиров, которые имеют более девяти сидячих мест, включая место водителя; транспортные средства для перевозки грузов: | |
| с максимально разрешенной массой, не превышающей 2 т | 76 |
| с максимально разрешенной массой, превышающей 2 т, но не превышающей 3,5 т | 77 |

*Окончание табл. 4 6*

| Категории транспортных средств | Предельные значения, дБ *А* |
|---|---|
| Транспортные средства для перевозки грузов, имеющие максимально разрешенную массу более 3,5 т: | |
| с двигателем мощностью менее 75 кВт (ЕЭК) | 77 |
| с двигателем мощностью 75 кВт (ЕЭК) или более, но менее 150 кВт (ЕЭК) | 78 |
| с двигателем мощностью 150 кВт или более | 80 |

Категории М и N — см. ГОСТ Р 41.51—99 (приложение 4).

ГОСТ Р 51616—2000 устанавливает допустимые уровни звука *А* внутреннего шума автомобилей и автобусов для перевозки пассажиров и автомобилей для перевозки грузов, приведенные в табл. 4.7.

Таблица 4.7

**Допустимые уровни внутреннего шума автотранспортных средств по ГОСТ Р 51616—2000**

| Автотранспортное средство | Допустимый уровень звука, дБ *А* |
|---|---|
| **Автомобили и автобусы для перевозки пассажиров** | |
| Категория $M_1$ (кромс вагонной или полукапотной компоновки кузова) | 78 |
| Категория $M_1$ (вагонная или полукапотная компоновка кузова) | 80 |
| Категория $M_2$, $M_3$ (кроме расположения двигателя впереди или рядом с местом водителя). | |
| на рабочем месте водителя | 78 |
| в пассажирском помещении автобусов классов II и III по ГОСТ 27815 | 80 |
| в пассажирском помещении автобусов класса I | 82 |
| Категории $M_2$, $M_3$ (с расположением двигателя впереди или рядом с местом водителя): | |
| на рабочем месте водителя и в пассажирском помещении | 80 |
| **Автомобили для перевозки грузов** | |
| Категории $N_1$ полной массой до 2 т | 80 |
| Категория $N_1$ полной массой от 2 до 3,5 т | 82 |
| Категории $N_2$, $N_3$, кроме предназначенных для международных и междугородных перевозок | 82 |
| Категории $N_2$, $N_3$ для международных и междугородных перевозок | 80 |

*Окончание табл 4 7*

| Автотранспортное средство | Допустимыи уровень звука, дБ *А* |
|---|---|
| Полуприцепы, предназначенные для перевозки пассажиров | 80 |
| **Троллейбусы** | |
| на рабочем месте водителя | 78 |
| в пассажирском помещении | 82 |

Примечания

1 Для автотранспортных средств повышенной проходимости (в соответствии с определением, приведенным в ЕЭК ООН) категории $M_1$ допустимые уровни увеличиваются на 2 дБ *А*

2 При проведении инспекционных испытаний сертифицированного типа автотранспортного средства допускается превышение допустимых уровней звука не более чем на 1 дБ *А*

3 Для автотранспортных средств, поставленных на производство до 01 01 91, допускается увеличение предельных значений на 2 дБ *А*

***Нормирование шума мотоциклов***

Допустимые уровни звука *А* приведены в табл 4 8

Таблица 4 8

**Допустимые уровни шума мотоциклов**

| Категория мотоциклов | Рабочий объем двигателя, $см^3$ | Допустимый уровень звука дБ *А* |
|---|---|---|
| Первая | До 80 | 75 |
| Вторая | От 80 до 175 | 77 |
| Третья | Свыше 175 | 80 |

***Нормирование шума самолетов (ГОСТ 22283—88)***

Допустимые уровни шума самолетов на территории жилой застройки установлены в ГОСТ 22283—88 Нормируемыми характеристиками шума, создаваемого на территории жилои застройки при взлете, посадке и пролете самолетов и вертолетов, являются максимальные уровни звука $L_A$, дБ *А*, при каждом пролете и эквивалентные уровни звука $L_{Aэкв}$, дБ *А* Оба параметра — для дневного и ночного времени Максимальные уровни звука *А* не должны превышать значений, указанных в табл 4 9

Таблица 4.9

**Максимально допустимые уровни звука *A* самолетов на территории жилой застройки по ГОСТ 22283—88**

| Время суток, ч | $L_A$, дБ *A* | $L_{A\text{экв}}$, дБ *A* |
|---|---|---|
| С 7.00 до 23.00 (день) | 85 | 65 |
| С 23.00 до 7.00 (ночь) | 75 | 55 |

Допускается превышение в дневное время установленного уровня звука *A* не более 10 дБ *A* для аэродромов 1-го и 2-го классов и для заводских аэродромов, но не более 10 пролетов в день.

При пролетах сверхзвуковых самолетов допускается превышение установленных уровней звука $L_A$ на 10 дБ *A* и $L_{A\text{экв}}$ на 5 дБ *A* за период не более двух суток в течение одной недели.

Шум нормируется предельными спектрами уровней звукового давления в дБ в октавных полосах частот, в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц, или уровнями звука *A* в дБ *A* в условиях крейсерского полета. Уровни звукового давления не должны превышать предельных спектров с номерами, указанными в табл. 4.10. Предельные спектры приведены в табл. 4.11.

При приемо-сдаточных испытаниях допускается оценка шума по уровням звука *A*, табл. 4.12.

Таблица 4.10

**Допустимые уровни звука *A* в кабинах по ГОСТ 20296—81**

| Кабины и класс перевозок | | Самолеты | | | Вертолеты |
|---|---|---|---|---|---|
| | | дальние магистральные | средние и ближние магистральные и сверхзвуковые | местных воздушных линий | |
| | | Номер предельного спектра | | | |
| Салоны | Первого класса | 70 | 75 | 80 | 85 |
| | Туристского класса | 75 | 80 | | |
| | Экономического класса | 80 | | | |
| Кабины экипажа | | 75 | | | 85 |

Примечания

1. Принадлежность самолета к той или иной категории (дальний, средний, ближний магистральный и местных воздушных линий) определяется техническим заданием на разработку самолета.

2. При уровнях звукового давления в кабинах экипажа вертолетов, соответствующих предельному спектру номер 85, должны применяться индивидуальные средства защиты от шума.

Таблица 4.11

**Уровни звукового давления в октавных полосах частот, соответствующие предельным спектрам**

| Номер предельного спектра | Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| | Уровни звукового давления, дБ | | | | | | | | |
| 65 | 99 | 87 | 78 | 72 | 68 | 65 | 63 | 61 | 59 |
| 70 | 103 | 91 | 83 | 77 | 73 | 70 | 68 | 66 | 64 |
| 75 | 107 | 95 | 88 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 |
| 80 | 110 | 99 | 92 | 87 | 83 | 80 | 78 | 76 | 74 |
| 85 | 113 | 103 | 96 | 91 | 88 | 85 | 83 | 81 | 79 |

Примечание — Допускается превышение уровней звукового давления для 10 % точек измерения (контрольных точек) до уровней следующего нормированного предельного спектра.

Таблица 4.12

**Допустимые уровни звука *А* в кабинах по ГОСТ 20296—81**

| Кабины и класс перевозок | | Самолеты | | | Вертолеты |
|---|---|---|---|---|---|
| | | дальние магистральные | средние и ближние магистральные и сверхзвуковые | местных воздушных линий | |
| | | Номер предельного спектра | | | |
| Салоны | Первого класса | 75 | 80 | | |
| | Туристского класса | 80 | 85 | 85 | 90 |
| | Экономического класса | 85 | | | |
| Кабины экипажа | | 80 | | | 90 |

Примечания

1. Уровни звукового давления на рабочих местах бортпроводников не должны быть более предельного спектра номер 80.
2. Уровни звука в дБ *А* на рабочих местах бортпроводников не должны быть более 85 дБ *А*.

***Нормирование шума звуковоспроизводящих и звукоусилительных устройств в закрытых помещениях и на открытых площадках (СН № 4396—87)***

Допустимые уровни шума установлены в СН № 4396—87. Уровни звука *А* не должны превышать значений, приведенных в табл. 4.13.

Таблица 4.13

**Допустимые уровни звука *А* звуковоспроизводящих и звукоусилительных устройств в закрытых помещениях и на открытых площадках по СН № 4396—87**

| Наименование объекта | Место измерения | Допустимые уровни звука *А*, дБ *А* | |
|---|---|---|---|
| | | $L_{Аэкв}$ | $L_{Амах}$ |
| Концертные залы | Около источника звука | 85 | 90 |

### 4.3.2. Нормирование инфразвука (СН 2.2.4/2.1.8.583—96)

В санитарных нормах СН 2.2.4/2.1.8.583—96 нормируемыми характеристиками постоянного инфразвука установлены:

уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах частот 2, 4, 8, 16 Гц;

уровень звука «*Лин*», дБ*Лин*, при условии, если разность между уровнями по шкалам «*Линейная*» и «*А*» на временной характеристике шумомера «медленно» составляет не менее 10 дБ.

Нормируемыми характеристиками непостоянного инфразвука установлены эквивалентные уровни звукового давления в октавных полосах частот 2, 4, 8, 16 Гц и эквивалентный уровень звука «*Лин*» в дБ*Лин*. Нормируемые значения приведены в табл. 4.14.

Таблица 4.14

**Предельно допустимые уровни инфразвука на территории жилой застройки и в помещениях жилых и общественных зданий по СН 2.2.4/2.1.8.583—96**

| Вид территорий и помещений | Уровень звукового давления, дБ, в октавнои полосе, Гц | | | | Уровень звука, дБ*Лин* |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 4 | 8 | 16 | |
| На территории жилой застройки | 90 | 85 | 80 | 75 | 90 |
| В помещениях жилых и общественных зданий | 75 | 70 | 65 | 60 | 75 |

### 4.3.3. Нормирование ультразвука (СанПиН 2.2.4/2.1.8.582—96)

В санитарных нормах СанПиН 2.2.4/2.1.8.582—96 и ГОСТ 12.1.001 в качестве нормируемых параметров воздушного ультразвука установлены уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот: 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80 и 100 кГц.

Нормируемыми параметрами контактного ультразвука являются пиковые значения виброскорости или ее логарифмические уровни (относительно $5 \cdot 10^{-8}$ м/с) в октавных полосах частот: 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000; 31500 кГц. При совместном воздействии воздушного и контактного ультразвука предельно допустимые уровни контактного ультразвука принимают на 5 дБ ниже нормируемых значений.

Для ультразвуковых источников бытового назначения (стиральные машины, охранная сигнализация и пр.) нормативные уровни воздушного и контактного ультразвука не должны превышать 75 дБ на рабочей частоте.

## 4.4. Приборы и методы измерений акустического шума

Основные приборы, применяемые для измерения шума: шумомеры, шумомеры интегрирующие, шумомеры усредняющие, спектрометры, узкополосные анализаторы спектра, интенсиметры, дозиметры шума, калибраторы шумомеров и интенсиметров, образцовые источники шума.

*Шумомер* – прибор для измерения уровня звука при частотных характеристиках *A, C,* линейной характеристике «*Лин*» и временных характеристиках *F, S, I* по ГОСТ 17187—81.

*Спектрометр* – прибор для измерения спектра шума в октавных полосах частот либо в частях октавы. В случае соединения с измерительным микрофоном спектрометр измеряет уровни звукового давления в полосах частот в дБ. Полосовые фильтры спектрометра должны соответствовать ГОСТ 17168—82.

*Интенсиметр* – прибор для измерения уровня интенсивности звука в полосах частот либо корректированного уровня интенсивности звука по частотной характеристике *A* шумомера по МЭК 61043.

*Образцовый источник шума* – источник шума с нормируемыми метрологическими характеристиками по ИСО 6926, применяемый для измерения уровня звуковой мощности источников шума по методу сравнения.

По основным метрологическим характеристикам, стандартизованным в международных и государственных стандартах: основной погрешности приборов, частотному диапазону, временным характеристикам и частотным коррекциям — измерительные приборы всех фирм, в том числе отечественные, примерно одинаковы. Разница в приборах старых выпусков и новых сводится к измерению нестандартизованных величин: спектральной плотности (БПФ-анализ), уровня громкости и др. Различна степень автоматизации вычислений.

### 4.4.1. Характеристики приборов для измерения шума

Характеристики приборов для измерения шума, внесенных в Госреестр, приведены в табл. 4.15.

| Основные параметры и характеристики | DSP-81 Larson Davis, США | DSP-82 Larson Davis, США | DSP-83 Larson Davis, США | 800 B Larson Davis, США | 814 Larson Davis, США | 2800/2900 Larson Davis, США |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Класс точности по ГОСТ 17187 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| Тип базового микрофона | 3/8″, электретный | 3/8″, электретный | 3/8″, электретный | 2541,1/2″ поляризация 200 В | 2541,1/2″ поляризация 200 В | 2541,1/2″ поляризация 200 В |
| Тип акустического калибратора | CAL-200 | CAL-200 | CAL-200 | CAL-200 CAL-250 | CAL-200 CAL-250 | CAL-200 CAL-250 |
| Максимальный уровень звука, дБ *Лин* | 148, ***Пик*** | 148, ***Пик*** | 148, ***Пик*** | 140, ***СКЗ*** | 149, ***СКЗ*** | 130, ***СКЗ*** |
| Эквивалентный уровень собственных шумов | 40 дБ *А* | 40 дБ *А* | 40 дБ *А* | 24 дБ *А*, 30 дБ *С*, 38дБ *Лин* | 9 дБ *А*, 13 дБ *С*, 18дБ *Лин* | 15 дБ *А*, 24 дБ *С*, 25дБ *Лин* |

Таблица 4.15

**для измерения шума**

| SVAN 912AE Svantek, Польша | SVAN 945 Svantek, Польша | 2236 Bruel & Kjær, Дания | 2238 Bruel & Kjær, Дания | 2260 Bruel & Kjær, Дания | ОКТАВА-101А «ОКТАВА+», РФ | ШИ-1 «НТМ ЗАЩИТА», РФ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 (0 для частотного анализа) | 1 | 1 |
| SV02,1/2″ поляризация 200 В | BMK-205, GRAS AN40,$^1/_2$″ поляризация 200 В | 4188,1/2″ поляризованный | 4188,1/2″ поляризованный | 4189,1/2″ поляризованный | BMK-205 | BMK-205 |
| SVO3A | SVO3A SV30 | 4231, 4228 | 4231, 4228 | 4231, 4228 | CAL-200 | CAL-200 |
| 136, *СКЗ* | 135 дБ *А* (sin), *СКЗ* | 140, *СКЗ* | 143, *СКЗ* | 130, *СКЗ* | 145, *СКЗ* | 140, *СКЗ* |
| 15 дБ *А* | 24 дБ *А*, 24 дБ *С*, 30дБ *Лин* | 18 дБ *А*, 27 дБ *С* | 17,1дБ *А*, 18,5дБ *С*, 22,7дБ *Лин* | 16 дБ *А*, 16,5 дБ *С*, 20,5дБ *Лин* | (12—55) дБ *А* (15—55) дБ С (43—55) дБ *Лин* | 15 дБ *А* 17 дБ *С* 30 дБ *Лин* |

| Основные параметры и характеристики | DSP-81 Larson Davis, США | DSP-82 Larson Davis, США | DSP-83 Larson Davis, США | 800 B Larson Davis, США | 814 Larson Davis, США | 2800/2900 Larson Davis, США |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Частотные характеристики, наличие фильтров | *A, B, C, Лин* (20Гц—12,5кГц) 1/1 окт. (31,5Гц—8кГц), последовательный анализ | *A, B, C, Лин* (20Гц—12,5кГц) | *A, B, C, Лин* (20Гц—12,5кГц) 1/1 окт. (31,5Гц—8кГц), последовательный анализ | *A, C, Лин* (1Гц—30кГц) 1/1 окт., 1/3 окт. (1Гц—20кГц), ФВЧ (1, 3, 10, 30 Гц), ФНЧ (1, 3, 10, 30Гц), последовательный анализ | *A, C, Лин* (20Гц—20кГц) 1/1 окт., 1/3 окт. (12,5Гц—20кГц), анализ в режиме реального времени | *A, C, Лин* (1Гц—20кГц) 1/1 окт., 1/3 окт. (1Гц—20кГц), анализ в режиме реального времени, ФВЧ (1 и 20 Гц), ФНЧ (10, 30 кГц) |
| Временные характеристики усреднения | *F, S, Пик* (С), интегрирование | *F, S, Пик (Лин),* интегрирование | *F, S, Пик (Лин),* интегрирование | *F, S, I,* Пик, интегрирование | *F, S, I, Пик,* интегрирование | *F, S, I, Пик,* интегрирование |
| Тип детектора, детектирование | *СКЗ, Пик (С),* линейное, экспоненциальное | *СКЗ, Пик (Лин),* линейное, экспоненциальное | *СКЗ, Пик (Лин),* линейное, экспоненциальное | *СКЗ, Пик* линейное, экспоненциальное | *СКЗ, Пик (А, С, Лин),* линейное, быстрое линейное экспоненциальное | *СКЗ, Пик (А, С, Лин),* линейное, быстрое линейное экспоненциальное |

*Продолжение табл. 4.15*

| SVAN 912AE Svantek, Польша | SVAN 945 Svantek, Польша | 2236 Bruel & Kjær, Дания | 2238 Bruel & Kjær, Дания | 2260 Bruel & Kjær, Дания | ОКТАВА-101А «ОКТАВА+», РФ | ШИ-1 «НТМ ЗАЩИТА», РФ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *А, С, Лин* (0,2Гц—25,6кГц) 1/1 окт (1Гц—20кГц), анализ в режиме реального времени ФВЧ, G, W-$B_{xy}$, W-$B_z$, W-BC, H-A | *А, С, Лин* (10Гц—20кГц) и (1Гц—20кГц), 1/1 окт , 1/3 окт. (1Гц—20кГц), анализ в режиме реального времени | *А, С, Лин* (20Гц—20кГц) 1/1 окт. (31,5Гц—8 кГц) | *А, С, Лин* 1/1 окт. (31,5Гц—8 кГц) 1/3 окт. (20Гц—12,5кГц), последовательный анализ | *А, С, Лин* 1/1 окт. (16Гц—16кГц), 1/3 окт. (8Гц—20кГц), анализ в режиме реального времени W-$B_{xy}$, W-$B_z$, H-A | *А, С, Лин* 1/1 окт. (2Гц—8кГц), 1/3 окт. (1,6Гц—16кГц), анализ в режиме реального времени | *А, С, Лин* 1/1 окт. (2Гц—8кГц), 1/3 окт. анализ в режиме реального времени |
| *F, S, I, Пик,* интегрирование | *F, S, I, Пик,* интегрирование | *F, S, I, Пик,* интегрирование | *F, S, I, Пик,* интегрирование | *F, S, I, Пик,* интегрирование | *F, S, I, Пик,* интегрирование | *F, S, I, Пик,* интегрирование |
| *СКЗ, Пик (А, С, Лин),* линейное, быстрое линейное экспоненциальное | *СКЗ, Пик* линейное, экспоненциальное | *СКЗ, Пик (А, С, Лин),* линейное, экспоненциальное | *СКЗ, Пик (А, С, Лин),* линейное, экспоненциальное | *СКЗ, Пик (А, С, Лин),* линейное, быстрое линейное экспоненциальное | 1/1 окт. *СКЗ, Пик,* (С, *Лин*) | 1/1 окт. *СКЗ* |

| Основные параметры и характеристики | DSP-81 Larson Davis, США | DSP-82 Larson Davis, США | DSP-83 Larson Davis, США | 800 B Larson Davis, США | 814 Larson Davis, США | 2800/2900 Larson Davis, США |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Динамический диапазон детектора, дБ | 100 | 100 | 100 | 70 | 100 | 80 |
| Измеряемые величины | $L_{A,B,C,Лин,окт}$, $L_{eq}$ с указанием характеристики взвешивания | $L_{A,B,C,Лин,Пик}$, $L_{eq}$ с указанием характеристики взвешивания | $L_{A,B,C,Лин,Пик,окт}$, $L_{eq}$ с указанием характеристики взвешивания | $L_{A,C,Лин,Пик,окт}$, $L_{eq\ min,max}$, $L_{n,Доза}$, измерение времени нарастания, затухания и реверберации | $L_{A,C,Лин,Пик,окт}$, $L_{eq\ min,max}$, $L_{n,Доза}$, измерение времени реверберации, дата, время и длительность интервала | $L_{A,C,Лин,Пик,окт}$, $L_{eq\ min,max}$, $L_{n,Доза}$, измерение времени реверберации, дата, время и длительность интервала |
| Наличие записи временной истории | Нет | Нет | Нет | Нет | Есть | Есть |
| Объем памяти | Нет | Нет | Нет | Нет | 512 (2000) Кб | 1 (до 4) Мб |

*Продолжение табл. 4.15*

| SVAN 912AE Svantek, Польша | SVAN 945 Svantek, Польша | 2236 Brüel & Kjær, Дания | 2238 Brüel & Kjær, Дания | 2260 Brüel & Kjær, Дания | ОКТАВА-101А «ОКТАВА+», РФ | ШИ-1 «НТМ ЗАЩИТА», РФ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 90 | 110 | 80 | 80 | 80 | 80 | 70 |
| $L_{A,C,Лин,Пик,окт}$, $L_{eq\ min,max}$, $L_{п,Доза}$, измерение времени реверберации, дата, время и длительность интервала | $L_{A,C,Лин,Пик,окт}$, $L_{eq\ min,max}$, $L_{п,Доза}$, дата, время | $L_{A,C,Лин,Пик,окт}$, $L_{eq\ min,max}$, $L_{п,Доза}$, с указанием характеристики взвешивания, статистические параметры | $L_{A,C,Лин,Пик,окт}$, $L_{eq\ min,max}$, $L_{п\ Доза}$, профили шума, дата, время и длительность интервала, статистические параметры | $L_{A,C,Лин,Пик,окт}$, $L_{eq\ min,max}$, $L_{п,Доза}$, профили шума, дата, время и длительность интервала, статистические параметры | $L_{A,C,Лин,Пик,окт}$, $L_{eq\ min,max}$, $F_{max,min}$ $S_{max,min}$ $L_{1s,}$ $I_{30\ s}$ | $L_{A,C,Лин}$, $L_{eq,}$ $L_{окт.}$ $L_{1/3\ окт}$ |
| Есть | Есть | Есть | Есть | Есть | **Есть** | **Нет** |
| 1 Мб | 3 Мб | До 512 Кб | 2 Мб | 32Мб (внутренний жесткий диск), дополнительно карта внешней памяти (5, 10, 20 Мб) | 500 Кб | 200 Кб |

| Основные параметры и характеристики | DSP-81 Larson Davis, США | DSP-82 Larson Davis, США | DSP-83 Larson Davis, США | 800 B Larson Davis, США | 814 Larson Davis, США | 2800/2900 Larson Davis, США |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Наличие выхода | Выход на интерфейс RS-232 | Выход на интерфейс RS-232 | Выход на интерфейс RS-232 | Выход по постоянному и переменному току | Выход по постоянному и переменному току, интерфейс RS-422 (RS-485, RS-232) | Выход по постоянному и переменному току, интерфейс RS-232, Centronix |
| Питание | Батарейка или внешний источник 9В, 75мА | Батарейка или внешний источник 9В, 75мА | Батарейка или внешний источник 9В, 75мА | Батарейное 4—15 В | Батарейное или внешний источник 4,5—15 В, 200 мА | Никель-кадмиевый аккумулятор 9 В, 1 А·ч, или сетевой блок |
| Масса, г | 252 | 252 | 252 | 1600 | 700 | 3400 (блок) |
| Габариты, мм | 205×75×25 | 205×75×25 | 205×75×25 | 59×96×22 | 370×86×40 | 280×197×61 (электронный блок) |
| Номер в Госреестре | 18390—99 | 18390—99 | 18390—99 | 14990—99 | 18389—99 | 14991—95/ 14992—95 |

| SVAN 912AE Svantek, Польша | SVAN 945 Svantek, Польша | 2236 Brüel & Kjær, Дания | 2238 Bruel & Kjær, Дания | 2260 Bruel & Kjær, Дания | ОКТАВА-101А «ОКТАВА+», РФ | ШИ-1 «НТМ ЗАЩИТА», РФ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Выход по переменному току, интерфейс RS-232, RS-422 | Выход по переменному току, интерфейс RS-232C | Выход по переменному и постоянному току, интерфейс RS-232 | Выход по переменному и постоянному току, интерфейс RS-232 | Выход по переменному току, интерфейс RS-232, выход PCMC (карта внешней памяти) | Выход на интерфейс RS-232 | Выход на интерфейс RS-232 |
| Никель-кадмиевый аккумулятор 68/3 А·ч, или сетевой блок 88/0,8 А | Аккумулятор 4,88/ /1,5 А·ч с зарядкой от сети | Батарейное 4×1,5 В аккумуляторное 4×1,2В, сетевой блок | Батарейное 4×1,5 В (7 ч постоянной работы) и внешнее 7—15В | Батарейное 6×1,5 В (5—6 ч постоянной работы) и внешнее 10—14 В, 300 мА | Аккумулятор 4,2— —5,2 В | Аккумулятор 5 В |
| 1800 | 635 | 460 (включая батареи) | 460 (включая батареи) | 1200 (включая батареи) | 600 | 800 |
| 250×112×68 | 82×42× ×2×99 | 257×97× ×41 | 257×97× ×41 | 375×120× ×52 | 354×86×36 | 170×105× ×42 |
| 17060— —98 | 22073— —01 | 15384— —96 | 22074— —01 | 15385— —96 | 24264— —03 | 24265— 03 |

### 4.4.2. Общая характеристика методов измерений шума

Измерения акустического шума проводят с целью определения шумовых характеристик мест пребывания людей и шумовых характеристик источников шума. Шумовые характеристики источников шума измеряют в лабораторных и натурных условиях.

В лабораторных условиях — в заглушенных и реверберационных камерах, на стендах, обеспечивающих режим работы источника шума.

В натурных условиях измерения проводят на селитебной территории, вблизи автомобильных и железных дорог, аэропортов, шумных предприятий.

***Измерение шумовых характеристик постоянных шумов при высоких уровнях звукового давления***

В качестве шумовых характеристик источников шума и мест пребывания людей выбирают те же характеристики, что и при средних уровнях [30]. Определяют продолжительность действия шума и распределение уровней шума в пространстве. Особенностью проведения измерений являются дистанционное управление измерительной аппаратурой, защита звукоприемной части аппаратуры от потоков газов, высокой температуры, вибрации и прочих помех.

При измерениях применяют акустические зонды, в которых звукоприемные отверстия, находящиеся в поле высокого звукового давления, удалены от чувствительного элемента.

Применяются микрофоны более прочной конструкции: конденсаторные с толстыми мембранами, керамические и др. Технические требования к керамическим микрофонам и методы их калибровки приведены в [22, 30].

***Измерение шумовых характеристик при низких уровнях звукового давления***

Низкие уровни звукового давления имеют, например, шумы дросселей люминесцентных ламп.

Шумовыми характеристиками низкошумных источников являются октавные уровни звукового давления и уровни звука в контрольных точках, показатель направленности. Измерение шумов низкого уровня ограничивается нижним пределом динамического диапазона микрофона и уровнем собственных шумов измерительного помещения.

Нижний предел динамического диапазона микрофона должен лежать по крайней мере на 5 дБ выше эквивалентного уровня собственного шума микрофона в рассматриваемом диапазоне частот и для соответствующей частотной характеристики [30].

***Измерение шумовых характеристик импульсных источников шума***

Импульсным называют шум, состоящий из одного или повторяющихся звуковых импульсов, каждый длительностью менее 1 с.

В качестве шумовых характеристик выбирают уровни звукового давления в октавных, третьоктавных и более узких полосах частот, уровни звука на характеристиках (*AI*) и *Пик*, уровень звуковой мощности, корректированный уровень звуковой мощности и показатель направленности. Импульсные шумы, состоящие из одиночного импульса звукового давления, например ударной волны при прохождении самолетом звукового барьера, треугольного импульса при выстреле из оружия оценивают параметрами функции времени, основными из которых являются пиковое значение и период. Одинаковые повторяющиеся импульсы дополнительно оцениваются частотой повторений. Определяют функцию времени уровня звукового давления и спектр уровней звукового давления в полосах частот [30].

***Измерение шумовых характеристик источников шумов, колеблющихся во времени***

У шумов, колеблющихся во времени, например создаваемых транспортом, уровень непрерывно меняется во времени значительно больше, чем время усреднения измерительного прибора.

За шумовые характеристики принимают эквивалентный уровень звука *A* или звукового давления в октавных или третьоктавных полосах частот, эквивалентный корректированный уровень звуковой мощности и др.

Эквивалентный уровень измеряют интегрирующим шумомером. При измерении в разных точках на измерительной поверхности, а также в разных полосах частот целесообразно использовать многоканальную запись шума на магнитофоне с последующей оценкой эквивалентного уровня.

Относительную дозу шума можно измерить дозиметром шума. По показаниям дозиметра шума можно вычислить эквивалентный уровень звука или абсолютную дозу шума в $Па^2 \cdot ч$ [30].

Эквивалентный уровень звука $L_{pAeq}$, дБ *A*, и максимальный уровень звука $L_{pAI}$, дБ *AI* — для импульсного шума.

Уровень звукового давления следует измерять в октавных полосах частот: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц или в соответствующих третьоктавных полосах частот.

Уровни звука измеряют шумомерами 1-го или 2-го класса точности по ГОСТ 17187. Уровни звукового давления в полосах частот измеряют по ГОСТ 17187 с подключенными к ним полосовыми фильтрами по ГОСТ 17168 или комбинированными измерительными системами соответствующего класса точности.

Эквивалентные уровни звука измеряют интегрирующими шумомерами. Допускается использовать дозиметры шумов с параметром эквивалентности $q = 3$.

В ГОСТ 12.1.050 даны указания по расположению микрофона при измерениях шума и выбору временных и частотных характеристик шумомера.

Требования к методам измерений шумовых характеристик мест пребывания людей и источников шума установлены в стандартах ГОСТ 12.1.050, ГОСТ 23941 и в международных стандартах ИСО 9612, ИСО 3740, ИСО 9614, ИСО 11200.

Измерения проводят портативными приборами или измерительными автоматизированными системами с предохранением микрофона от ветра, осадков, электрических и магнитных полей, вибрации. В результаты измерений вносят поправки на уровень помех, атмосферные условия, на неравномерность частотной характеристики измерительной системы. До и после проведения серии измерений проводят акустическую калибровку измерительных приборов. Периодически проводят поверку приборов в органах Госстандарта России.

### 4.4.3. Измерение слышимого шума

Перечень измеряемых величин, методы измерения, требования к измерительной аппаратуре, к условиям проведения измерений установлены в ГОСТ 12.1.050 и ГОСТ 23941.

Установлены следующие измеряемые и рассчитываемые величины в зависимости от временных характеристик шума:

уровень звука *A*, $L_{pA}$, дБ *A*, и уровень звукового давления в октавных полосах частот $L_p$, дБ, — для постоянного шума;

эквивалентный уровень звука $L_{pAeq}$ и максимальный уровень звука $L_{pAmax}$, дБ *A*, — для колеблющегося во времени и прерывистого шума.

***Измерение шумовых характеристик мест пребывания людей (ИСО 1996—1, 2, 3)***

Измерение шума в местах пребывания людей проводится для оценки фактических уровней шума, воздействующего на человека. В результате определяют шумовые характеристики мест пребывания людей, которые используют для: оценки шумового режима, сравнения фактических уровней шума с допустимыми значениями, установленными нормативными документами; разработки мероприятий по снижению шума и оценки их эффективности.

Международная организация по стандартизации ИСО разработала следующие международные стандарты по методам измерений шума в местах пребывания людей:

ИСО 1996/1 — по основным измеряемым величинам и методам измерения;

ИСО 1996/2 — по получению данных для решения вопросов землепользования;

ИСО 1996/3 — по предельным значениям уровней шума;

ИСО 8297 — по шумам предприятий в окружающей среде;

ИСО 362, ИСО 5128, ИСО 5130, ИСО 7188 — по шумам автомобилей, также ЕЭК ООН № 51;

ИСО 3095, ИСО 3381 — по шумам рельсового транспорта;

ИСО 2922, ИСО 2923 — по шумам водного транспорта;

ИСО 10847 — по снижению шума акустическими экранами.

Международный стандарт ИСО 1996/1 содержит основные измеряемые величины, которые приведены в разд. 4.1.

ИСО 1996/2 содержит описания методов получения данных о шуме, позволяющие проводить оценку шума окружающей среды на конкретном участке местности и решать вопрос о приемлемости способа использования этого участка местности с учетом существующих и прогнозируемых уровней шума.

Основными акустическими параметрами, подлежащими оценке, являются эквивалентные уровни звука $A$ и оценочные уровни звука $A$, определенные в течение базовых интервалов времени, соотнесенных с характеристиками источников шума и его приемников.

При определении оценочного уровня учитывают поправки на тональность, импульсный характер звука и на метеоусловия.

После обработки измерительных данных в соответствии с методами, приведенными в ИСО 1996/2, рассчитывают средний уровень звука $A$ за длительный интервал времени и средний оценочный уровень за тот же длительный интервал времени.

Возможно также определение процентных уровней звука $A$, в частности превышаемых в течение 5; 50; 95 % времени.

Определение среднего уровня звука $A$ и среднего оценочного уровня звука $A$ проводят по результатам измерений в контрольных точках участка местности. Измерительные точки выбирают в местах, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга по всей площади участка, на котором проводят обследование шумового режима, либо в местах, характерных для разных источников шума (покрытие поверхности, рельеф, крупные объекты, отражающие звук и т. п.). Высота измерительных точек над поверхностью земли — 1,2—1,5 м. В районах будущего строительства ее предпочтительно выбирать в пределах 3—11 м. Если разность уровней звука $A$ в соседних точках превышает 5 дБ, то выбирают дополнительно промежуточные точки.

Базовые интервалы времени должны позволять измерять шумы всех возможных типов человеческой деятельности, например, транспортное движение, работа промышленных предприятий. Один базовый интервал времени выбирают в дневное время, другой — в ночное, затем в вечернее, а также в выходные и праздничные дни.

Длительный период времени, включающий в себя базовые интервалы, должен перекрывать устойчивые вариации в исследуемом шуме. Он может быть продолжительностью в несколько месяцев или ограничен определенным временем года. Продолжительность периодов измерений должна обеспечить определение средних уровней звука *A* или оценочных уровней звука *A* с необходимой точностью.

Рекомендуется проводить измерения при специально выбранных метеоусловиях:

направление ветра в пределах ±45° к линии, соединяющей центр доминирующего источника звука с центром обследуемого участка местности; ветер должен дуть от источника к приемнику. Скорость ветра на высоте 3—11 м над уровнем территории — 1—5 м/с. Отсутствие температурной инверсии вблизи поверхности территории, отсутствие атмосферных осадков.

При измерении применяют метод непрерывного интегрирования в течение базовых интервалов времени и метод выборочных измерений в течение измерительных интервалов.

При необходимости прогнозирования шума на перспективу используют математические модели. Результаты расчетов и оценки шумового режима участка местности могут быть также представлены в виде карты шума.

МС ИСО 1996/3 содержит общие рекомендации по установлению пределов шума окружающей среды и методов проверки соответствия измеренных акустических характеристик установленным пределам. Конкретные значения пределов шума устанавливаются местными управлениями на основе общего рассмотрения совместимости с человеческой деятельностью и возможностью их применения в данной стране. Пределы зависят от многих факторов: времени суток, вида человеческой деятельности, типа источника шума, климатических и экономических особенностей.

***Измерение шума на селитебных территориях и в помещениях жилых и общественных зданий (ГОСТ 23337—78)***

Измерение шума на селитебных территориях по ГОСТ 23337—78 проводят:

на площадках отдыха микрорайонов и групп жилых домов, площадках детских учреждений и школ, территориях больниц и санаториев — не менее чем в трех точках, расположенных на ближайшей к источнику шума границе площадок на высоте 1,2—1,5 м над уровнем поверхности площадок;

на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам и зданиям больниц, санаториев, детских учреждений и школ не менее чем в трех точках, расположенных в 2 м от ограждающих конструк-

ций зданий на высоте 1,2—1,5 м над уровнем поверхности территории или на высоте середины окон первого этажа. Окна зданий при этом должны быть закрыты.

Внутри жилых и общественных зданий шум измеряют в помещениях, оборудованных в соответствии со своим назначением, не менее чем в трех точках, равномерно распределенных по помещению, но не ближе 1 м от стен и крупных предметов и не ближе 1,5 м от окон помещения на высоте 1,2—1,5 м над уровнем пола. При нахождении источников шума внутри помещений их окна и двери должны быть закрыты. При нахождении источников шума вне здания окна и двери должны быть закрыты, а форточки или фрамуги должны быть открыты.

Время оценки шума в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебной территории принимают в течение 8 ч, ночью непрерывно в течение 0,5 ч в наиболее шумный период. Продолжительность измерений постоянного шума не менее 3 мин; измерения прерывистого шума проводят в течение полного цикла характерного действия источника в дневное или ночное время. Уровни звука прерывистых шумов, которые остаются постоянными в интервале 0,5 мин и более, следует отсчитывать в каждом из этих интервалов, а также в паузах между ними.

Уровни колеблющегося и импульсного шума следует отсчитывать с интервалами 5—6 с. Измерительный микрофон должен быть направлен в сторону основного источника шума и удален от измеряющего лица не менее чем на 0,5 м либо микрофон ориентируют вверх при отсутствии основного источника шума. Значения уровней звука $A$ и уровней в октавных полосах частот следует принимать по средним показателям при колебаниях стрелки прибора. Значения уровней звука $A$, колеблющегося во времени, и импульсного шума принимают по показаниям стрелки прибора в момент отсчета.

За максимальный уровень звука $A$ при проведении измерений шумомером принимают наибольшее значение уровня звука за период измерений шума. При использовании измерительных систем за максимальный уровень звука принимают уровни звука $A$, превышаемые в течение 1 % времени измерения шума.

В последние десятилетия в нашей стране и за рубежом начали применять карты шума улично-дорожной сети городов, а также городских территорий, дающие наглядное представление о распределении шумовой нагрузки в городе и позволяющие выполнять работы по оценке шумового режима в различных точках селитебной территории, а также в помещениях жилых и общественных зданий. Метод составления карт шума приведен в [11].

Карта шума представляет собой схематический план улиц и дорог города или другого населенного пункта с нанесенными на него в условных обозначениях шумовыми характеристиками транспортных потоков. Карты шума служат основой для оценки существующего и прогнозируемого шумового режима на улично-дорожной сети и примагистральных территориях, а также для разработки организационно-административных, архитектурно-планировочных и строительно-акустических мероприятий по снижению внешнего городского шума. Карты шума составляют на текущий период, расчетные сроки и на перспективу.

***Измерение шумовых характеристик предприятий, создающих шум в окружающей среде (ИСО 8297)***

Международный стандарт ИСО 8297 устанавливает метод определения уровней звуковой мощности промышленного предприятия по измеренным эквивалентным уровням звукового давления при непостоянном, прерывистом, колеблющемся или импульсном шуме на территории предприятия или усредненным уровням звукового давления при постоянном шуме в октавных полосах частот. Точки измерения располагают по контуру вокруг предприятия на высоте 5 м, если высота предприятия больше 5 м. При непостоянном, колеблющемся или импульсном шуме измерения проводят с помощью интегрирующего шумомера.

При расчете октавных уровней звуковой мощности промышленного предприятия определяют площадь измерительной поверхности и соответствующую добавку к измеренным уровням звукового давления. По измеренным уровням звукового давления в полосах частот с учетом поправок вычисляют уровни звуковой мощности в полосах частот и корректированный по *А* уровень звуковой мощности предприятия. Отдельно определяют уровни звуковой мощности самостоятельных источников шума на его территории.

В 1989 г. в НИИ строительной физики разработаны «Рекомендации по измерению и оценке внешнего шума промышленных предприятий». Измерения проводят в уровнях звука *А*. Вычисляют средний корректированный уровень звуковой мощности предприятия и максимальный корректированный уровень звуковой мощности. Измерения проводят вдоль измерительного контура вокруг предприятия на расстоянии 30 м от границ предприятия в точках над уровнем земли 3 м и расстоянии между точками не более 50 м. Площадь измерительной поверхности при расчете уровня звуковой мощности принимается равной удвоенной площади территории промышленного предприятия.

***Измерение шумовых характеристик источников шума (ИСО 3740, ИСО 11200, ИСО 4871)***

Требования к методам измерений шумовых характеристик источников шума изложены в стандартах ИСО, которые в настоящее время вводят в качестве государственных стандартов:

ИСО 3740, ИСО 3741, ИСО 3743/1, ИСО 3743/2, ИСО 3744, ИСО 3745, ИСО 3746, ИСО 3747, ИСО 9614—1, ИСО 9614—2, ИСО 11200, ИСО 11201, ИСО 11202, ИСО 11203, ИСО 11204, ИСО 11205 и ИСО 4871.

В этих стандартах установлены измеряемые величины, условия измерений, степень точности измерений (точные, технические, ориентировочные), неопределенности измерений либо показатели точности, класс точности применяемых средств измерений. Номера классов точности измерительных приборов соответствуют приведенным в стандартах МЭК 60651, МЭК 60804, МЭК 225, МЭК 60942.

Основные требования международных стандартов:

размеры реверберационных камер и отражающих звук помещений установлены в пределах 40—300 м$^3$;

размеры заглушенных камер не установлены;

объем испытуемого источника шума не должен превышать 0,5—5 % от объема помещения, либо он не стандартизован;

непостоянный, импульсный шум можно измерять лишь в заглушенных камерах либо в специальной реверберационной камере. Интенсивность импульсного шума не измеряют.

Неопределенность измерений уровня звуковой мощности выражена в виде максимального значения стандартного отклонения воспроизводимости результатов измерений $\sigma_R$ по ИСО 7574 для доверительной вероятности 90 %. Неопределенности измерения нормируют в диапазоне третьоктавных частот 50—10000 Гц.

Неопределенность измерений в заглушенной камере в 1,5—2 раза меньше, чем в полузаглушенной (ИСО 3745).

В средней части диапазона частот неопределенность измерения составляет 1—2 дБ и возрастает на краях диапазона до 3—5 дБ.

При измерении «излучаемого шума» нормируемые значения параметров относятся к уровню звука при характеристиках $A$ и $C$ и не относятся к уровню звукового давления в полосах частот.

Вводится нормирование по пиковому уровню звука ($L_{Cpeak}$).

***Измерение уровня звуковой мощности источников шума и уровня звука излучения (ИСО 3740, ИСО 11200)***

Измерения проводят в соответствии с базовыми стандартами, а также стандартами на отдельные виды источников шума. Действующие в настоящее время ГОСТы на методы измерения уровня звуко-

вой мощности источников шума, как правило, устарели и требуют замены в соответствии с новым поколением стандартов ИСО, МЭК, МОЗМ преимущественно методом «смены обложки».

Методы определения уровня звуковой мощности установлены в ГОСТ 23941, ГОСТ 12.1.024, ГОСТ 27243, ГОСТ 30457, ГОСТ Р 51400, ГОСТ Р 51401, ГОСТ Р 51402, а также в серии международных стандартов ИСО 3740—ИСО 3747, ИСО 9614.

Методы определения уровня звука излучения установлены группой международных стандартов серии ИСО 11200.

Характеристики отдельных методов измерений приведены в ИСО 3740, где описаны средства измерений, заглушенные и реверберационные камеры, установленные неопределенности результатов измерений.

По стандартам ИСО, связанным с измерением уровня звуковой мощности источников шума серий ИСО 3740 и ИСО 9614, можно сделать следующие заключения:

1) диапазон третьоктавных частот измерений составляет от 50 до 10000 Гц;
2) размеры заглушенных камер не ограничены;
3) размеры реверберационных камер и отражающих звук помещений установлены в пределах 40—300 м$^3$;
4) объем испытуемого источника шума не должен превышать 0,5—5% от объема помещения, либо он не ограничен;
5) непостоянный, импульсный шум можно измерять лишь в заглушенных камерах, либо в специальной реверберационной камере. Интенсивность импульсного шума не измеряют;
6) при измерении в реверберационных камерах необходимо сравнительно большее превышение сигнала над уровнем помех, чем в заглушенных камерах;
7) для измерений используют приборы, в основном, первого класса точности;
8) неопределенность измерений нормируют в диапазоне третьоктавных частот 50—10000 Гц;
9) неопределенность измерений в заглушенных камерах в 1,5—2 раза меньше, чем в полузаглушенных камерах по ИСО 3745;
10) в средней части диапазона частот неопределенность измерений составляет 1—2 дБ и возрастает на краях диапазона до 3—5 дБ.

По стандартам, связанным с измерением звука излучения, серии ИСО 11200 можно сделать следующие выводы:

1) измеряют и нормируют уровни звука на характеристиках *A* и *C* шумомера и не нормируют уровни звукового давления в полосах частот;

2) характер шума, в основном, без ограничений;
3) требования к точности измерительных приборов и ограничения на уровень помех такие же, как в стандартах на измерение уровня звуковой мощности;
4) в отличие от стандартов прежних лет вводится нормирование по пиковому уровню звука ($L_{Cpeak}$).

***Измерение интенсивности звука***

Измерения проводят в соответствии с ГОСТ 30457—97 (ИСО 9614-1—93) техническим методом. Метод применяют, преимущественно, при необходимости измерений в ближнем поле источника шума. По результатам может быть вычислен уровень звуковой мощности источника шума. Метод позволяет определить вклад отдельных элементов излучателя шума в общий уровень, распределение потока звуковой энергии в окрестности излучателя шума. Для измерений применяют интенсиметр звука по МЭК 61043, в состав которого входит акустический зонд — приемник градиента звукового давления. В нем два микрофона расположены на определенном расстоянии один от другого. Напряжения с микрофонов поступают на двухканальный измерительный прибор. Калибровку измерителя интенсивности звука до и после проведения измерений проводят либо с помощью специального калибратора, либо в процессе измерений по разности значений уровней интенсивности звука при установке акустического зонда в направлении на источник шума и в противоположном направлении. Разность показаний не должна превышать 1,5 дБ.

При измерениях акустический зонд помещают в точки на измерительной поверхности, охватывающей источник шума не менее чем в одной точке на 1 м$^2$ измерительной поверхности и не менее чем в 10 точках, по возможности равномерно распределенных по измерительной поверхности.

Результаты измерений нормальной интенсивности звука во всех точках измерения усредняют, учитывая поправки, связанные с условиями измерений и качеством звукового поля. При выполнении всех требований стандарта среднее квадратическое отклонение результата измерений при доверительной вероятности 95 % не превышает следующих значений в октавных полосах частот:

63—125 Гц — 3,0 дБ;
250—500 Гц — 2,0 дБ;
1000—4000 Гц — 1,5 дБ;
6300 Гц — 2,5 дБ.

В стандарте ИСО 9614-1—93 описаны измерения интенсивности звука по точному, техническому и ориентировочному методам, в

дискретных точках на измерительной поверхности, а в стандарте ИСО-2:1996 при сканировании — непрерывном перемещении акустического зонда по измерительной поверхности.

***Измерение шума автотранспортных средств (ИСО 5130, ИСО 7188, ГОСТ Р 41.51—99)***

Международный стандарт ИСО 5130 содержит метод измерений шума на неподвижном автомобиле.

Измерения проводят у выхлопной трубы автомобиля и вблизи двигателя. Микрофон располагают на высоте 0,5 м от земли со стороны, более удаленной от места водителя. Измерительную точку выбирают на расстоянии 0,5 м от контура автомобиля в вертикальной плоскости, проходящей через переднюю ось, через заднюю ось или через среднюю точку между базами колес, в зависимости от расположения двигателя. Главную ось микрофона направляют в сторону двигателя.

Международный стандарт ИСО 7188 позволяет на основе двух специальных испытаний рассчитать уровень звука *A* автомобиля, превышаемый в течение 5 % времени, соответствующий эквивалентному уровню звука *A*, создаваемого этим автомобилем в условиях реального городского движения. Стандарт позволяет также оценить однопроцентные уровни звука, которые соответствуют максимальному уровню звука *A* автомобиля.

Измерения шума проводят в режиме ускорения и в режиме постоянной скорости. Микрофон располагают на высоте (1,2 ± 0,05) м над уровнем площадки и на расстоянии (7,5 ± 0,1) м от оси движения автомобиля. Главную ось микрофона направляют в сторону автомобиля. Фиксируют наибольший уровень звука при проезде автомобилем измерительного участка длиной 20 м.

Основную оценивающую величину — характеристический уровень звука *A* — вычисляют исходя из максимального уровня звука *A* при испытании с ускорением автомобиля, при испытании с постоянной скоростью, с учетом коэффициента, зависящего от отношения мощности двигателя к массе и от системы передачи.

Правило ЕЭК ООН № 51 и соответствующий ГОСТ Р 41.51—99 содержат описание методов и приборов, используемых для измерения шума, производимого автотранспортными средствами, имеющими не менее четырех колес, при движении и в неподвижном состоянии. Испытательная площадка при испытании в движении должна состоять из центральной части для разгона, зона испытания вокруг которой должна быть практически горизонтальной. Покрытие испытательного трека должно быть сухим.

На расстоянии 50 м от центральной части участка разгона не должно быть крупных звукоотражающих объектов, таких как забо-

ры, камни, мосты или здания. Поверхность площадки не должна быть покрыта рыхлым снегом, высокой травой, рыхлой землей, золой. Вблизи микрофона и источника звука не должно быть никаких преград, которые могут оказать влияние на звуковое поле. Порывы ветра не должны сказываться на результатах измерений. Уровень помех должен быть, по меньшей мере, на 10 дБ ниже уровня шума от транспортного средства.

Микрофон на треке устанавливают на расстоянии (7,5 ± 0,2) м от оси движения на высоте (1,2 ± 0,1) м над поверхностью. Главную ось микрофона устанавливают перпендикулярно оси движения. Максимальный уровень звука *A* измеряют в тот момент, когда транспортное средство проходит между линиями, ограничивающими измерительный участок и находящимися на расстоянии ±10 м от его середины.

В стандарте регламентированы условия работы двигателя и скорости движения в процессе измерений. При этом двигатель развивает свою расчетную максимальную мощность.

***Измерение наружного шума автотранспортных средств неподвижных (ГОСТ 41.51—99)***

Измерения проводят на остановленном транспортном средстве в зоне, пригодной также для проведения измерений на движущихся транспортных средствах. Во время испытаний в зоне измерения не должно быть посторонних лиц, за исключением испытателя и водителя. При измерении шума вблизи выхлопной трубы микрофон должен быть направлен к отверстию выхода газов и размещен на расстоянии 0,5 м от него и на высоте выхлопного отверстия не менее чем на 0,2 м над поверхностью земли. Ось микрофона должна быть параллельна поверхности и составлять угол 45° ± 10° с вертикальной плоскостью, которая проходит через поток газа.

Установлены места расположения микрофона при различном количестве и расположении выхлопных труб. Определяют максимальное показание шумомера при разных условиях работы двигателя. Учитывают только те показания, которые были получены в результате трех последовательных измерений и расхождение между которыми не превышает 2 дБ.

***Измерение внутреннего шума автомобильных транспортных средств (ГОСТ Р 51616-2000)***

ГОСТ Р 51616—2000 устанавливает допустимые уровни звука *A* и методы испытаний автомобильных транспортных средств категорий $M_1$, $M_2$, $M_3$, $N_1$, $N_2$, $N_3$, в том числе с электродвигателем, полуприцепов, предназначенных для перевозки пассажиров, и троллейбусов.

Стандарт не распространяется на транспортные средства, находящиеся в эксплуатации.

Для измерений внутреннего шума автотранспортного средства должны применяться шумомер 1-го класса точности по ГОСТ 17187, приборы для измерения скорости автотранспортного средства и частоты вращения коленчатого вала двигателя с относительной погрешностью измерения ±3 %, прибор для измерения скорости ветра в диапазоне измерений от 1 до 10 м/с с погрешностью измерения ±0,5 м/с, прибор для измерения температуры окружающего воздуха с погрешностью измерения ±1 °С, прибор для измерения атмосферного давления с погрешностью измерения ±2,6 ГПа.

Испытания следует проводить на прямом, сухом, гладком и чистом участке дороги с покрытием из асфальтобетона в хорошем техническом состоянии. Продольный уклон измерительного участка не должен превышать 1 %. На расстоянии 20 м от продольной оси измерительного участка не должны находиться крупные звукоотражающие объекты.

Уровень шумовых помех должен быть не менее чем на 15 дБ ниже измеряемого уровня шума. Если это условие не соблюдается, следует внести поправку на уровень помех по ГОСТ 12.1.026. При измерении шума вспомогательное оборудование должно быть выключено.

Микрофон располагают у сиденья водителя.

Микрофон, расположенный у сидений пассажиров, устанавливают на высоте (1,6 ± 0,1) м от пола ближе к оси симметрии автотранспортных средств. Ось микрофона располагают горизонтально в направлении взгляда сидящего человека или в направлении движения автотранспортного средства. Испытания проводят при разгоне и при движении с постоянной скоростью автотранспортного средства при определенных режимах двигателя и скорости движения. Проводят также измерения вентиляционных установок при неподвижном автотранспортном средстве и работе двигателя на холостом ходу в наиболее шумном режиме.

За результат измерения принимают среднее значение из трех измерений в каждой точке. Если разность наибольшего и наименьшего значений уровней шума в каждой точке превышает 2 дБ, проводят повторное испытание. За результат измерения принимают максимальное значение уровня звука *А* в пассажирском помещении.

***Измерение шума рельсовых транспортных средств (ИСО 3095)***

Международный стандарт ИСО 3095 устанавливает методы измерений уровня звука *А* и спектров внешнего шума всех типов рельсовых транспортных средств, а также измерений на стоянке, во время

разгона, при движении на станциях, мостах или путепроводах и в тоннелях.

В месте испытаний в радиусе 50 м от микрофона не должно быть крупных объектов, отражающих звук. Поверхность площадки между транспортным средством и микрофоном должна быть максимально свободна от снега, высокой травы и балласта соседних путей. Скорость ветра не должна превышать 5 м/с. Атмосферные осадки должны отсутствовать, а уровень шума помех должен быть не менее чем на 3 дБ ниже исследуемого шума, в противном случае вносят поправки в результаты измерений. Следует избегать влияния на микрофон сильных электрических и магнитных полей, повышенного фона ионизирующего излучения, вибрации и других факторов.

Измерения проводят на пути с деревянными или железобетонными шпалами.

Участок пути должен быть прямолинейным, а рельсы не должны иметь волнообразного износа и стыков. Дополнительные измерения проводят для изучения шумов в тоннелях, на мостах, стрелочных переводах, переездах и станциях. Поверхности катания колес должны быть гладкими и без ползунов.

При испытаниях одиночного пассажирского или грузового вагона следует принимать меры к уменьшению влияния шума локомотива на измеряемый шум вагона. Вагоны должны быть не загружены и не иметь пассажиров. Двери и окна должны быть закрыты, а вспомогательное оборудование, которое работает в пути, должно быть включено.

Скорость движения поездов должна составлять 80 км/ч — для поездов дальнего следования, 60 км/ч — для пригородных поездов и поездов метрополитена, 40 км/ч — для трамваев. При испытаниях на более высоких скоростях принимают скорости 120, 160 и 200 км/ч.

При проведении испытаний на стоянке режим работы устанавливают в зависимости от вида транспортного средства. Для тягового электроподвижного состава и электропоездов включают все оборудование, в том числе и главные двигатели, вспомогательное оборудование работает при максимальной нагрузке.

Во время измерений ось микрофона располагают перпендикулярно пути. При измерении шума транспортных средств в движении микрофон располагают на одном из рекомендованных расстояний от оси пути: 7,5; 25; 50 или 100 м и на высоте 1,2—1,5 м над головкой рельса. Уровень звука измеряют с обеих сторон транспортного средства. При измерении шума на стоянке микрофон устанавливают по обе стороны от транспортного средства на расстоянии 7,5 м от оси пути на высоте 1,2—5 м и так, чтобы линия, соединяющая измерительные точки, проходила через центр транспортного средства. Если

в верхней части транспортного средства имеются источники значительного шума, то измерительные точки располагают на высоте 3,5 м. Для каждого положения микрофона и для каждого режима испытаний проводят не менее трех измерений.

При измерении шума во время отправления транспортного средства проводят измерения максимального уровня звука или спектральный анализ.

При измерении шума на платформах станций при проезде, торможении или разгоне рельсовых транспортных средств, а также шума на стрелочных переходах микрофон должен быть установлен на платформе на расстоянии 3 м от оси ближайшего рельсового пути на высоте 1,2—1,5 м над уровнем платформы, в средней ее части, а также в точках против головной и хвостовой частей состава. Главную ось микрофона направляют перпендикулярно путям. В качестве шумовой характеристики принимают максимальный уровень звука *A*.

Аналогичные измерения проводят на станциях метрополитена.

При измерении шума на мостах и в тоннелях микрофон устанавливают на высоте 1,2—1,5 м от головки рельса и на расстоянии, по возможности, 7,5 м от оси пути при измерении шума на железнодорожных мостах и путепроводах и в 3 м от оси рельсового пути в тоннелях.

Если требуется проведение измерений уровней шума около всасывающих и выхлопных отверстий двигателей или систем кондиционирования воздуха и охлаждения на стоящем рельсовом транспортном средстве, то микрофон располагают на расстоянии 1 м от кромки отверстия и под углом 30° к направлению потока газа.

***Измерение шумовых характеристик потоков автотранспортных средств (ГОСТ 20444—85)***

ГОСТ 20444—85 устанавливает методы измерения шумовых характеристик потоков автомобильных и рельсовых транспортных средств. Условия и методы измерения соответствуют случаю автотранспортного потока (см. выше), за исключением некоторых моментов. Так, при измерении шумовой характеристики потока трамваев микрофон располагают на расстоянии (7,5 ± 0,2) м от оси колеи ближней к точке измерений и на высоте (1,5 ± 0,1) м от уровня головки рельса. Измерения проводят в течение времени, когда мимо измерительной точки проезжает не менее 20 трамваев в обоих направлениях. Фиксируют тип трамваев и скорость их движения.

При измерении шумовой характеристики железнодорожных поездов микрофон располагают на расстоянии (25 ± 0,5) м от оси ближайшего к точке измерений железнодорожного пути на высоте (1,5 ± 0,1) м над уровнем земли. Продолжительность измерений не менее 1 ч.

Шумовую характеристику потока трамваев или железнодорожных поездов получают с помощью интегрирующего шумомера.

Шум поездов метрополитена ГОСТ 20444—85 не рассматривает.

***Измерение авиационного шума на местности (ГОСТ 22283—88)***

Измерения авиационного шума проводят по ГОСТ 22283—88 на вновь проектируемых территориях жилой застройки, вблизи существующих аэродромов и аэропортов, а также на территориях жилой застройки городов и поселков городского типа, вокруг вновь проектируемых аэропортов и аэродромов, при взлете, пролете и посадке самолетов и вертолетов, при опробовании двигателей на аэродромах, при проведении полетов.

Измерения проводят в периоды наиболее интенсивного воздушного движения в точках, расположенных в зонах жилой застройки вблизи трасс пролета самолетов.

Измерения не проводят при скорости ветра более 8 м/с, а также при неблагоприятных сочетаниях температуры и влажности окружающего воздуха, в местах с высоким уровнем шумового фона, создаваемого наземным или водным транспортом, пешеходами, детскими играми и т. п.

Микрофон устанавливают на открытой площадке либо над сооружениями так, чтобы между ним и самолетом не было препятствий, искажающих звуковое поле, создаваемое самолетом. Рабочий центр микрофона располагают на высоте 1,2 м над уровнем земной поверхности. Главную ось микрофона направляют вертикально вверх. Удаление рабочего центра микрофона от ближайшей поверхности не должно быть менее 1,2 м.

Для стационарных пунктов контроля микрофон устанавливают на высоте не менее 6 м от земной поверхности.

Если скорость ветра превышает 3 м/с, то при измерениях используют ветрозащитный экран для микрофона. Микрофон должен быть защищен от дождя, снега и других неблагоприятных внешних воздействующих факторов.

Измерения проводят при временной характеристике шумомера «медленно», максимальный уровень звука определяют по максимальному показанию шумомера.

При использовании регистратора уровня на нем записывают значения уровня звука $A$ в функции времени при пролете самолетов.

При использовании статистического анализатора считывание уровней с регистратора уровней проводят с интервалом 0,1 с, но не более 0,3 с.

При использовании системы с магнитным регистратором шум самолетов записывают на магнитную ленту, а затем расшифровывают.

При использовании шумомера и регистратора уровня делают отметку уровня звука *A*, соответствующую нулевому отсчету на ленте.

При использовании регистратора уровня и статистического анализатора регистрируют показания счетчиков всех каналов анализатора и средние уровни звука *A* каждого канала.

При измерении с использованием шумомера и дозиметра шума определяют показания дозиметра и исходный уровень звука *A*, относительно которого проводится отсчет доз шума отдельно для дневного и ночного времени.

***Измерение шума в салонах и кабинах экипажа самолетов и вертолетов, пассажирских и транспортных (ГОСТ 20296—81)***

Измерения уровней шума проводят по ГОСТ 20296—81 в контрольных точках, расположение которых зависит от размещения двигателей самолета в хвостовой части, или под крылом самолета.

Контрольные точки располагают на пассажирских местах по левому и по правому бортам, а также на пассажирских местах, ближайших к продольной оси самолета (вертолета).

Во время измерений система кондиционирования воздуха должна работать на эксплуатационном режиме при полностью включенной системе обдува остекления кабины экипажа. Индивидуальная вентиляция на всех пассажирских местах салона должна быть полностью включена, а громкоговорящая система отключена.

Микрофон устанавливают так, чтобы его рабочий центр был на высоте (0,65 ± 0,05) м над точкой пересечения плоскости симметрии кресла со свободной поверхностью сиденья и передней поверхностью спинки кресла. Главную ось микрофона направляют вверх. Измерения проводят также на уровне головы члена экипажа и на рабочих местах бортпроводников (середина буфета). Измерения проводят на высоте 1,65 м от пола. Главную ось микрофона направляют вверх.

В начале и в конце каждой серии измерений должны регистрироваться следующие параметры полета самолета (вертолета): приборная скорость (км/ч), высота полета (м), число Маха, температура наружного воздуха (°С), режим работы двигателей, давление (мм. рт. ст.), расход воздуха в кабине экипажа и в салоне, температура (°С).

Не допускаются измерения во время прохождения самолета (вертолета) через зону с сильной турбулентностью и при наличии на высоте полета снега, дождя и облаков.

***Измерение внешнего шума морских и речных судов (ИСО 2922)***

Международный стандарт ИСО 2922 устанавливает метод измерения внешнего шума судов на внутренних водных путях и в гаванях.

Место испытаний удовлетворяет условиям свободного поля, если в радиусе 100 м от микрофона нет крупных объектов, отражающих звук. Между испытуемым судном и микрофоном должна находиться открытая вода или поверхность суши, максимально свободная от звукопоглощающего покрытия, высокой травы, снега и т. п.

На участке измерений глубина воды должна быть достаточной для нормального режима работы судна. Судно должно двигаться, по возможности, прямолинейным курсом вверх по течению или против приливной волны, или в стоячей воде. Во время измерений должно обеспечиваться прохождение судна по измерительному участку в стационарном режиме. Гребные винты и крыльчатые двигатели должны находиться в положении, обеспечивающем максимальную мощность. Все вспомогательные двигатели должны работать при номинальных оборотах и производительности.

Микрофон устанавливают на специальное измерительное судно, причал или берег на высоте 1,2—1,5 м над уровнем палубы измерительного судна, причала, на высоте от 3 до 6 м над уровнем воды. Ось микрофона направляют перпендикулярно курсу судна.

Минимальное расстояние между микрофоном и проходящим судном должно составлять не менее 25 м. Регистрируют максимальные уровни звука *А*. Если расстояние от микрофона до судна отличается от 25 м, но лежит в пределах 20—35 м, то проводят пересчет измерительного уровня звука *А* к опорному расстоянию 25 м.

При измерении уровней внешнего шума специальных судов, стоящих на якоре, микрофон устанавливают в нескольких точках вокруг судна на расстоянии 25 м от его бортов. Все двигатели должны работать в обычном эксплуатационном режиме.

При измерении около всасывающих и выхлопных отверстий двигателя микрофон устанавливают вне потока газа или воздуха на расстоянии 1 м от среза отверстия и под углом 30° к направлению потока.

### 4.4.4. Измерение инфразвука (СН 2.2.4/2.1.8.583—96)

Требования к методам измерения инфразвука установлены в СН 2.2.4/2.1.8.583—96.

Для постоянного инфразвука измеряют уровни звукового давления $L_p$, дБ, в октавных полосах частот 2,4,8,16 Гц и уровень звука $L_{pLin}$, дБ, измеренный по шкале шумомера «*Лин*».

Для непостоянного инфразвука измеряют эквивалентные уровни звукового давления $L_{p\,eq}$, дБ, в тех же полосах частот и эквивалентный уровень звукового давления $L_{pLin,\,eq}$, дБ *Лин*. В случае тонального инфразвука измерения проводят в третьоктавных полосах частот 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20 Гц. Для сопоставления с

санитарными нормами их следует пересчитывать в уровни в октавных полосах частот.

Измерение уровней инфразвука проводят шумомером 1-го класса точности по ГОСТ 17187 с частотной характеристикой усилителя от 2 Гц и октавных или третьоктавных фильтров по ГОСТ 17168. Микрофон шумомера должен иметь нижнюю граничную частоту не выше 1,4 Гц.

При измерении следует убедиться в отсутствии стоячих волн на частотах измерения, а также в отсутствии эффекта резонатора, приводящих к результатам, отличающимся от результатов измерения при свободном распространении звуковых волн [30]. При определении шумовых характеристик мест пребывания людей измерения проводят на высоте 1,5 м от поверхности земли или пола помещения, на рабочем месте оператора. В звукоизолированных кабинах уровень звукового давления на инфразвуковых частотах может преобладать над уровнем слышимого шума из-за большой звукоизоляции ограждения кабины в диапазоне слышимых частот и эффекта резонатора Гельмгольца, который даже при небольшом объеме помещения может быть настроен на инфразвуковые частоты. Горлом резонатора являются небольшие щели в ограждении кабины.

Воздействие низкочастотных составляющих шума связано не только с их уровнем, но и с превышением над соседними уровнями в спектре, а также с влиянием составляющих на средних и высоких частотах. Отсюда вытекает необходимость при измерении инфразвука одновременно измерять также уровни на слышимых звуковых частотах и учитывать их при нормировании шумовых характеристик в инфразвуковом диапазоне частот [30].

### 4.4.5. Измерение ультразвука (СанПиН 2.2.4/2.1.8.582—96 и ГОСТ 12.1.001—89)

Требования к методам измерения ультразвука установлены в ГОСТ 12.1.001, ГОСТ 12.4.077 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.582—96.

Для воздушного ультразвука измеряют уровень звукового давления в третьоктавных полосах частот 12,5; 16, 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100 кГц.

Для контактного ультразвука измеряют пиковые значения виброскорости в м/с или ее логарифмические уровни в октавных полосах частот 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000; 31500 кГц.

В качестве шумовых характеристик источников принимают уровни звукового давления на частотах, соответствующих рабочим частотам оборудования или резонансным частотам излучателя, характеристики направленности излучения [30].

Учитывают поглощение ультразвука в воздухе, направленность приемника и отражений не только от ограждающих поверхностей помещения, если они недостаточно удалены, но и от деталей оборудования и измерительной установки. Определяют распределение уровней звукового давления на контрольных плоскостях в окружающем пространстве, что позволяет проектировать звукоотражающие экраны и защищать, например, руки и голову оператора.

Определяют наибольшее из измеренных значение уровня звукового давления. Шумовые характеристики определяют не менее чем в четырех контрольных точках на высоте 1,5 м от пола, на расстоянии 0,5 м от контура оборудования и не менее 2 м от ограждающих поверхностей помещения и предметов. Расстояние между контрольными точками должно быть не более 1 м.

## 4.5. Измерения акустических характеристик материалов, конструкций и экранов

Акустические материалы — это материалы, применяемые для поглощения или отражения звуковых волн. В первом случае их называют *звукопоглощающими*, во втором — *звукоизолирующими*. Обычно один акустический материал обладает обоими свойствами, но в разной мере.

Акустическую звукопоглощающую или звукоизолирующую конструкцию изготавливают из акустических и конструктивных материалов.

В звукоизолирующую конструкцию могут входить и звукопоглощающие материалы.

Из одного материала можно изготовить разные звукопоглощающие и звукоизолирующие конструкции с преобладанием тех или иных свойств.

Основные акустические характеристики *звукопоглощающих* материалов и конструкций следующие:

коэффициент звукопоглощения при нормальном падении звуковой волны;

коэффициент звукопоглощения в диффузном звуковом поле (реверберационный);

импеданс поверхности материала или конструкции;

удельное сопротивление продуванию постоянным потоком воздуха.

Основные акустические характеристики *звукоизолирующих* материалов и конструкций следующие:

изоляция от воздушного шума (звукоизоляция);

изоляция от ударного шума;
индекс изоляции от воздушного шума;
приведенный уровень ударного шума;
индекс приведенного уровня ударного шума.

*Коэффициент звукопоглощения при нормальном падении звуковой волны* определяют методом акустического интерферометра по ГОСТ 16297—80, ИСО 10354. При этом измеряют уровни звукового давления в первых максимуме и минимуме звукового давления в трубе интерферометра.

*Коэффициент звукопоглощения в диффузном звуковом поле (реверберационный)* определяют методом реверберационной камеры по ГОСТ 16297—80, ИСО 354. При этом измеряют время реверберации при отсутствии образца в камере и при наличии образца в камере. Вычисляют изменение эквивалентной площади звукопоглощения в камере. Относя полученное изменение эквивалентной площади звукопоглощения камеры к площади образца, получают значение коэффициента звукопоглощения образца.

*Импеданс поверхности (слоя) материала или конструкции* определяют методом акустического интерферометра по ГОСТ 16297—80 и ИСО 10354. При этом измеряют уровни звукового давления в первых максимуме и минимуме звукового давления в трубе интерферометра, а также расстояние от первого минимума до поверхности образца.

*Удельное сопротивление продуванию постоянным потоком воздуха* по DIN 52312 (Германия), ASTM C 522-73 (США) и СТ СЭВ 6644—89. При этом измеряют перепад давления по обе стороны образца при продувании образца материала ламинарным потоком воздуха. Сопротивление продуванию вычисляют путем сопоставления величины перепада давления воздуха на образце материала с линейной скоростью постоянного потока воздуха через образец и отнесения величины перепада к толщине образца материала.

*Изоляцию от воздушного шума* определяют по ГОСТ 27296—87, ГОСТ 23499—79, ГОСТ 16297—80, ИСО 9052—1 и ИСО 140. Измерения по стандартному методу проводят в двух реверберационных камерах, разделенных испытуемым образцом. Изоляцию от воздушного шума определяют по разности средних уровней звукового давления в полосах частот в камере высокого уровня, где расположен излучатель звука, и в камере низкого уровня, где измеряют звук, прошедший через образец.

К полученной разности уровней прибавляют поправку, определяемую по отношению площади поверхности образца к эквивалентной площади звукопоглощения камеры низкого уровня, вычисляе-

мой по измеренному значению времени реверберации по ГОСТ 26417—85.

*Изоляцию от ударного шума и приведенный уровень ударного шума* определяют по ГОСТ 27296—87 и ИСО 140 (ч. 6, 7, 8, 12). Для определения изоляции от ударного шума определяют приведенный уровень ударного шума. При этом под перекрытием при работе на нем стандартной ударной машины измеряют средние уровни звукового давления в октавных полосах частот. Для получения приведенного уровня, учитывающего поправку на звукопоглощение в камере низкого уровня, следует к измеренным средним уровням добавить значение десятикратного логарифма отношения эквивалентной площади звукопоглощения (по ГОСТ 26417) к стандартизованной величине, равной 10 $м^2$.

*Индекс изоляции от воздушного шума* по ГОСТ 27296—87 служит для оценки звукоизоляции ограждающих конструкций. Для его определения частотную характеристику звукоизоляции сравнивают с нормативной кривой для звукоизоляции от воздушного шума. Результат сравнения на частоте 500 Гц принимают за индекс изоляции от воздушного шума данной конструкции.

*Индекс изоляции от ударного шума* по ГОСТ 27296—87 и ИСО 717—2 определяют аналогично показателю изоляции от воздушного шума с учетом нормативной кривой для ударного шума и определения индекса приведенного уровня ударного шума.

### 4.5.1. Измерение акустических характеристик материалов и конструкций

Акустические материалы и конструкции с целью получения паспортных данных и сертификации подлежат измерению по их акустическим характеристикам. Паспортные данные определяют на измерительных установках, аттестованных и допущенных к применению в установленном порядке. Методы испытаний стандартизованы в международных и национальных стандартах, на основании которых за рубежом разрабатывают тест-коды на отдельные группы продукции, а в России разрабатывают методики выполнения измерений по ГОСТ Р 8.563—96.

***Измерение звукопоглощения материалов и конструкций***

Характеристики звукопоглощающих материалов при нормальном падении звуковой волны подлежат измерению в стандартном акустическом интерферометре по ГОСТ 16297, выпускаемом фирмой «Брюль и Къер» (Дания).

Звукопоглощающие конструкции требуют для испытаний большего размера поперечного сечения трубы интерферометра, чем

в стандартной конструкции (например, в интерферометре ВНИИФТРИ — поперечное сечение трубы 40×40 см и длина 7 м).

В интерферометре применяют методы измерения с одним или двумя микрофонами. Нижний предел частотного диапазона измерений зависит от длины трубы, а верхний предел — от ее поперечного сечения, который сравнивают с длиной звуковой волны. В результате измерений получают коэффициент звукопоглощения при нормальном падении звуковой волны. Шкалы приборов фирмы «Брюль и Къер» позволяют отсчитать непосредственно коэффициент звукопоглощения.

Коэффициент звукопоглощения при различных углах падения волны может быть измерен в заглушенной камере при падении звука на образец под разными углами.

Эффективность звукопоглощения наружных акустических экранов может быть определена как разность уровней отраженного от экрана звука при отсутствии и при наличии звукопоглотителя.

Измерение *коэффициента звукопоглощения в диффузном звуковом поле* проводят в реверберационной камере по ГОСТ 16297—80. При этом стандартизованы размеры камеры и испытуемого образца, виды сигналов: полосы шума или «воющий тон», положения образца, излучателей и приемников звука. Измеряют время реверберации. На результат измерений влияет переходная характеристика измерительной системы. Определяют время реверберации по спаду кривой затухания на 10, 15 дБ, а также стандартной реверберации по спаду на 60 дБ. Коэффициент звукопоглощения в диффузном поле может превышать единицу, соответствующую поглощению 100 % энергии падающей звуковой волны, что нелогично. Поэтому правильнее называть эту величину «коэффициент реверберации», а не «коэффициент звукопоглощения».

Измерение *импеданса поверхности (слоя/материала или конструкции)* проводят в акустическом интерферометре. При этом определяют активную и реактивную составляющие импеданса, входящие в формулу для коэффициента звукопоглощения при нормальном падении звуковой волны. По этой формуле построена импеданс — диаграмма, по которой можно определить коэффициент звукопоглощения по измеренным или рассчитанным активной и реактивной составляющим импеданса.

***Измерение звукоизоляции конструкций***

Различают звукоизоляцию по диффузному полю по ГОСТ 27296—87 и звукоизоляцию по свободному полю, связанных между собой формулой Контюри [30].

*Звукоизоляцию конструкций по диффузному полю* измеряют методом двух реверберационных камер, учитывая звукопоглощение в камере низкого уровня и обходные пути между двумя камерами.

Звукоизоляцию ограждающих конструкций в натурных условиях определяют аналогично в случае внутренних ограждающих конструкций.

Звукоизоляцию наружных ограждающих конструкций можно получить одним из трех способов, используя в качестве источника шум, излучаемый транспортным потоком (1), либо устанавливая излучающий громкоговоритель снаружи здания (2) или внутри здания (3). При первом и втором способах микрофон устанавливают снаружи здания. Внутри помещения измерения проводят так же, как и при измерении звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций.

Третий способ должен учитывать поправку, связанную с отсутствием диффузного поля снаружи здания (−6 дБ).

*Звукоизоляцию конструкций по свободному полю* можно измерить в заглушенной камере или в свободном пространстве методом измерения интенсивности звука по обе стороны образца или корреляционным методом [30]. Можно также ориентировочно оценить по формуле Контюри — по «закону массы», без учета волнового совпадения.

Звукоизоляцию по свободному полю и по диффузному полю можно также измерить методом малых камер [30].

*Звукоизоляцию конструкций от ударного шума* по ГОСТ 27296—87 определяют по результатам измерения уровня звукового давления под перекрытием при работе на нем стандартной ударной машины. В некоторых случаях молотки ударной машины покрывают мягкими насадками. При этом требуется учесть влияние насадок в виде поправок к результатам измерений. Изоляция от ударного шума зависит от вида и качества пола, укладываемого на несущую часть перекрытия. В стандартах ГОСТ 27296—87 и ИСО 717-2:1996 описан способ определения показателя улучшения изоляции от ударного шума перекрытий полом. При этом определяют две частотные характеристики приведенного уровня ударного шума под перекрытием — вначале без покрытия пола (плита перекрытия), затем с испытуемым покрытием пола. Определяя всякий раз показатели приведенного уровня ударного шума и вычитая один из другого, можно получить показатель улучшения изоляции от ударного шума данным видом пола.

Для того, чтобы получаемые результаты не зависели от вида и типа несущей части перекрытия, в стандарте ИСО 140-8:1997 определены условия проведения измерений. Все виды полов разделены на три категории, и для каждой из них определены размеры и число подлежащих испытанию образцов; установлены требования к тол-

щине и размерам в плане несущей части перекрытия: оговорены расстояния между измерительными точками; рекомендовано проведение измерений ударного шума дополнительно на частотах 50, 63, 80, 4000 и 5000 Гц с целью получения более полной информации. Индекс приведенного уровня ударного шума исходной несущей части перекрытия принят равным 78 дБ.

***Измерение коэффициента звукопоглощения при нормальном падении звуковой волны методом акустического интерферометра (ГОСТ 16297—80)***

Измерения проводят по ГОСТ 16297—80. Интерферометр состоит из металлической трубы, с одной стороны которой прикреплен громкоговоритель, с другой стороны установлен образец испытуемого материала.

Микрофон-зонд в виде тонкой трубки проходит через керн магнита громкоговорителя и может быть установлен на разных расстояниях от испытуемого образца. Диапазон измерений 63—6300 Гц.

Для испытаний звукопоглощающих конструкций, например клиньев для заглушенных камер, применяют акустический интерферометр с внутренними размерами трубы 400×400 мм и длиной трубы 7 м. Диапазон измерений 40—4000 Гц. Определяют отношение звуковых давлений в максимуме и в минимуме стоячей волны в трубе. По этому отношению вычисляют коэффициент звукопоглощения при нормальном падении звуковой волны образца. Величина коэффициента — от нуля до единицы.

Может быть также определен импеданс образца материала при нормальном падении звуковой волны по измеренному отношению звуковых давлений в максимуме и минимуме волны и расстоянию первого минимума от лицевой поверхности образца.

***Измерение коэффициента звукопоглощения в диффузном звуковом поле — реверберационного коэффициента (ГОСТ 16297—80)***

Измерения проводят по ГОСТ 16297—80 в реверберационной камере объемом не менее (200 ± 20) м$^3$. Время реверберации пустой камеры объемом 180 м$^3$ не должно быть менее 5 с на частотах 125—500 Гц и 4,5; 3,5; 2 с на частотах 1000, 2000, 4000 Гц, соответственно.

Передающая измерительная система камеры состоит из генератора шума, полосовых фильтров, усилителя мощности и не менее трех громкоговорителей, установленных в углы реверберационной камеры.

Приемная измерительная система состоит из одного или нескольких микрофонов, усилителей, полосовых фильтров и регистрирующего прибора, позволяющего регистрировать спад уровня звукового

давления после выключения громкоговорителей. По спаду уровня на 60 дБ определяют время реверберации. По времени реверберации пустой камеры и камеры с испытуемым образцом вычисляют коэффициент звукопоглощения в диффузном поле. Величина коэффициента может достигать нескольких единиц и является условной, не пропорциональной поглощенной энергии звука. Его можно было бы назвать не коэффициентом звукопоглощения, а коэффициентом реверберации.

***Измерение коэффициента звукопоглощения звукопоглощающих строительных материалов в диффузном звуковом поле (ГОСТ 26417—85)***

Измерения проводят по ГОСТ 26417—85 в малой реверберационной камере объемом 1,5—2,0 $м^3$, на образцах площадью 1—15 $м^2$ и толщиной не более 100 мм. Измеряют время реверберации в пустой камере и в камере с испытуемым образцом. По измеренным значениям вычисляют коэффициент звукопоглощения (реверберационный). Диапазон частот измерений 125—8000 Гц и, при необходимости, до 20000 Гц.

При измерении применяют передающую измерительную систему, состоящую из генератора шума, полосовых фильтров, усилителя мощности, громкоговорителей, а также приемную систему, состоящую из микрофона, усилителя и регистрирующего прибора.

***Измерение звукоизоляции ограждающих конструкций методом реверберационных камер (ГОСТ 27296—87)***

Измерения проводят по ГОСТ 27296—87. Измеряют звукоизоляцию от воздушного и ударного шума. Реверберационные камеры состоят из двух смежных по горизонтали или вертикали помещений, разделенных ограждением с проемом для монтажа испытуемых образцов конструкций. Минимально допустимый объем камер должен составлять 50 $м^3$. Для испытаний окон и дверей допускается 30 $м^3$. Время реверберации не должно быть менее 1 с. Частотный диапазон измерений 100—3150 Гц.

При проведении измерений изоляции от воздушного шума громкоговорители располагают в углах камеры высокого уровня, на расстоянии не менее 2 м от испытуемого образца. Микрофон устанавливают не менее чем в шести измерительных точках.

При проведении измерений изоляции от ударного шума измеряют приведенный уровень ударного шума в реверберационной камере под образцом перекрытия. При этом ударную машину устанавливают не менее чем в четырех точках на испытуемом образце. Микрофон устанавливают не менее чем в трех точках под перекрытием, при каждом положении ударной машины.

При измерениях применяют передающую измерительную систему, состоящую из генератора шума, полосовых фильтров, усилителя мощности и громкоговорителей, а также приемную систему, состоящую из одного или нескольких микрофонов, усилителей и регистрирующего прибора.

Применяют также стандартную ударную машину.

***Измерение звукоизоляции методом малых камер***

Получили распространение измерительные камеры объемом менее 1 $м^3$ для измерения звукоизоляции образцов материалов и конструкций, а также элементов построенных зданий, межквартирных перегородок, фюзеляжей самолетов, локальной звукоизоляции конструкций.

Две камеры заполнены звукопоглощающим материалом. В одной из них, излучающей, расположен громкоговоритель, в другой, приемной, — измерительный микрофон. При измерении вначале приемную камеру прижимают к излучающей и регистрируют спектр шума, излучаемого громкоговорителем. Затем, при том же напряжении на громкоговорителе, между камерами помещают испытуемый образец или конструкцию и регистрируют спектр шума, прошедшего через образец. Разность уровней звукового давления на соответствующих частотах в первом и втором измерениях определяет звукоизоляцию образца.

К разности уровней прибавляют поправку, учитывающую неидеальность звукового поля в камере. Поправку определяют путем измерения звукоизоляции образца плотной, непористой резины, полагая, что звукоизоляция ее соответствует аналитическим выражениям для «законов массы» по свободному и по диффузному звуковым полям [30]. Внесение поправки в результаты измерений обеспечивает единообразие измерений на разных установках и в разных лабораториях. При необходимости сравнения звукоизоляции образцов между собой на одной установке поправки не вносят.

Звукоизоляцию по свободному полю применяют, например, для акустических экранов, устанавливаемых на местности. Звукоизоляцию по диффузному полю — для акустических экранов, используемых в помещениях.

В случае свободного поля с одной стороны образца и диффузного с другой, как это имеет место в наружных стенах зданий, возникает неопределенность в применении аналитических выражений для «законов массы». Можно принять меньшее значение звукоизоляции.

Результаты измерений в малых камерах не учитывают эффекты волнового совпадения, которые могут быть учтены дополнительно.

При измерениях применяют те же передающую и приемную измерительные системы, что и для реверберационных камер, либо упрощенные системы.

***Измерение звукоизоляции кожухов (ГОСТ 23628—79, ИСО 11546)***

Международные стандарты ИСО 11546-1, ИСО 11546-2 устанавливают методы измерения звукоизоляции кожухов в лабораторных и натурных условиях.

Кожухи могут стоять на полу помещения или их крепят к источнику шума. Они могут иметь смотровые окна, технологические отверстия, оснащенные вентиляторами.

Звукоизоляция кожуха — уменьшение уровня звуковой мощности источника шума или уровня звука *A* при установке на нее кожуха. Либо — при измерении в реверберационной камере — разность между уровнем звукового давления с кожухом и без кожуха.

Измерения проводят в октавных или третьоктавных полосах частот или в уровнях звука *A* при соответствующем методе измерения.

В качестве источника шума при измерениях применяют источник, для которого кожух предназначен, либо звукоизлучающую систему по ИСО 3741, установленную в реверберационной камере, либо образцовый источник шума.

В качестве образцового источника шума используют стандартную ударную машину, установленную на стальном листе размером 800×300 мм, толщиной 4 мм, либо излучатель из нескольких громкоговорителей, либо стандартный образцовый источник шума аэродинамического типа.

ГОСТ 23628—79 устанавливает методы измерения звукоизоляции кожухов в свободном звуковом поле, на открытой площадке, в отраженном звуковом поле в помещении, на месте эксплуатации кожуха. Требования к свободному полю — по ГОСТ 12.1.025—81 и ГОСТ 12.1.024—81.

Методы измерения аналогичны приведенным в стандартах ИСО.

***Измерения звукоизоляции кабин (ГОСТ 23426—79, ИСО 11957)***

Международный стандарт ИСО 11957 устанавливает лабораторный метод измерений и метод измерений на месте установки кабины.

Измерения проводят по точному методу в реверберационной камере по ИСО 3741 либо в помещении, где создается звуковое поле вокруг кабины с помощью громкоговорителей. Объем реверберационной камеры должен быть не менее 200 м$^3$ и превышать объем испытуемой кабины не менее чем в 20 раз.

Определяют разность уровней звукового давления в реверберационной камере и внутри кабины. Звуковое поле создают, по крайней

мере, двумя громкоговорителями, расстояние между которыми — не менее 3 м. Превышение уровня шума над уровнем помех — не менее 6 дБ. Диапазон частот измерений — от 100 до 5000 Гц (от 50 до 10000 Гц). Точки измерения должны содержать точку расположения уха оператора.

При испытании кабин большого размера, но не более 15 м, в гулком помещении применяют 3 и более громкоговорителей, равномерно распределенных вокруг кабины.

Показатель звукоизоляции от воздушного шума определяют по ИСО 717-1.

ГОСТ 23426—79 устанавливает методы измерений звукоизоляции кабин на открытых площадках и в помещении, а также на месте эксплуатации для кабин с размерами не более 6 м. Звукоизоляцию кабины определяют как разность средних октавных уровней звукового давления, измеренных в одних и тех же точках до установки кабины и в кабине после ее установки.

По второму методу звукоизоляцию кабины определяют как разность средних октавных уровней звукового давления в точках измерения вокруг кабины и внутри кабины. Точки измерения внутри кабины располагают на рабочих местах, на уровне головы оператора, а вокруг кабины — на высоте 1,5 м от низа кабины, на расстоянии 1 м от стен и на расстоянии 1—2 м одна от другой. Громкоговорители располагают по углам и в середине стороны кабины на расстоянии, в 2 раза превышающем наибольший линейный размер кабины. Система вентиляции кабины при измерениях должна быть выключена, а двери и окна закрыты. Измерения в каждой точке проводят не менее трех раз.

### 4.5.2. Измерение характеристик экранов (ИСО 10847)

Международный стандарт ИСО 10847 устанавливает методы определения в натурных условиях снижения внешнего шума экранами всех типов в конкретном месте и при определенных метеорологических условиях. Этот стандарт не позволяет сравнивать шумозащитные свойства двух идентичных экранов, установленных в разных местах городской территории. Однако допускается сравнение экранов разных типов, установленных на том же самом месте и испытанных при тех же метеорологических условиях.

Стандарт устанавливает два метода измерения снижения внешнего шума экраном — прямой и косвенный.

Прямой метод применяют, если экран еще не установлен, или уже установленный экран может быть временно удален (передвинут). Уровни звукового давления в полосах частот или уровни звука *A* измеряют в опорной точке перед экраном и в измерительной точке за

ним при наличии и при отсутствии экрана. Разность этих уровней позволяет судить о снижении уровня шума экраном.

Косвенный метод применяют, когда экран уже установлен и не может быть передвинут. В этом случае проводят измерения без экрана в другом месте, которое может считаться эквивалентным месту установки экрана по источнику шума, профилю территории, характеру застройки, отражающим поверхностям, типу грунта и метеорологическим условиям. Стандарт не устанавливает методы определения звукоизоляции и звукопоглощения экрана.

Измеряют эквивалентные уровни звука $A$, или уровни экспозиции звука $A$, октавные или третьоктавные уровни звукового давления, или максимальные уровни звукового давления.

Шумомеры должны соответствовать 1-му или 2-му классу точности по МЭК 60651, а интегрирующие шумомеры 1-му или 2-му классу точности по МЭК 60804. Для измерений могут быть использованы три типа источников шума: неуправляемый реальный источник шума, например транспортный поток; регулируемый образцовый источник шума; регулируемый реальный источник шума, например несколько типичных транспортных средств.

Транспортный поток является лучшим типом источника шума, но он нестабилен и требует непрерывного и одновременного измерения шума в опорной и измерительной точках.

Образцовый источник шума применяют, когда измерения другими источниками затруднены из-за больших расстояний, высокого фона или значительной высоты экрана. Но он не может моделировать шум в большом пространстве. В ряде случаев в качестве источника шума могут быть использованы типичные транспортные средства.

Расстояние между измерительными точками и отражающими звук предметами должно быть не менее 30 м. Ось микрофона ориентируют вертикально. Измерения проводят в диапазоне октавных частот от 63 до 4000 Гц (8000 Гц). При расстояниях между измерительной точкой и источником шума более 200 м требуется повторить измерения шума в каждой измерительной точке более трех раз.

При постоянном шуме длительность каждого измерения должна составлять не менее 2 мин. При измерении непостоянного шума — не менее 10—30 мин.

### *Методики выполнения измерений при испытании акустических экранов*

В России и других странах получили распространение акустические экраны для защиты от шума автотранспорта. Их производство и применение нуждаются в акустическом контроле. Имеющиеся многочисленные документы по контролю противоречивы и не содержат

указаний о точности и достоверности измерений, что не позволяет гарантировать обеспечение санитарных норм и заданного снижения уровня шума при выборе типа экрана, гарантировать контроль стабильности производства экранов и их паспортных данных.

Акустический экран, как всякое техническое изделие, должен иметь технический паспорт. В паспорте указывают такие акустические характеристики экрана, как его стандартная акустическая эффективность с акустическими характеристиками материалов и конструкций, из которых он изготовлен (коэффициент звукопоглощения, звукоизоляция).

Для экранов, применяемых снаружи, эти характеристики должны быть измерены по свободному полю, а для экранов, применяемых в помещении, — по диффузному полю.

Паспортные данные определяют на акустических испытательных стендах, для которых известны погрешности измерений при стандартных внешних условиях. Определение паспортных данных на экранах, установленных на местности, не допускается.

Паспортные данные определяют на опытных образцах экранов, разработанных и изготовленных по правилам, установленным в специальных документах. При сертификации экрана и его материалов и конструкций проверяют наличие технической документации, паспорта, свидетельства об аттестации акустического стенда, измерительных установок, правильности проведения измерений. Паспортные данные применяют при проектировании экрана, при согласовании типа экрана с заказчиком, в рекламных целях.

Перед проектированием установки экрана на местности предварительно измеряют затухание звука между предполагаемым местом установки экрана и защищаемым объектом. С учетом паспортной эффективности экрана и измеренного затухания звука на местности вычисляют эффект снижения шума у защищаемого объекта и сравнивают расчетный уровень у объекта с допустимым по санитарным нормам или с техническим заданием. Если требования не удовлетворяются, то выбирают по паспортным данным экран с бóльшей акустической эффективностью или проектируют установку экрана в другом месте, учитывая рельеф местности. На экране, установленном на местности, акустических измерений не проводят, так как исправить его практически невозможно.

После установки экрана контролируют соответствие уровня шума у защищаемого объекта санитарным нормам или техническому заданию. Все методы испытаний должны быть установлены в методиках выполнения измерений, разработанных, согласованных и утвержденных в соответствии с ГОСТ Р 8.563—96.

Для испытания экранов необходимо использовать следующие методики выполнения измерений:

1. «Методика выполнения измерений стандартной акустической эффективности экранов наружного применения». Результаты измерений приводят в техническом паспорте экрана, аттестованном в установленном порядке и обеспечивающем необходимую точность измерений.

2. «Методика выполнения измерений при сертификации экранов» с учетом характеристик материалов экрана, стандартной акустической эффективности экрана и акустической эффективности экрана по звукоизоляции и звукопоглощению в свободном поле, обеспечивающая необходимую точность измерений.

3. «Методика выполнения измерений при контроле санитарных норм по шуму», обеспечивающая необходимую точность измерений шума на местности до и после установки на ней экрана.

4. «Методика расчета снижения уровня шума экраном на местности с учетом предварительного измерения исходных данных для расчета по распространению шума на местности, где будет установлен экран». Результаты расчета должны соответствовать результатам контроля с определенной точностью, выполненного по методике п. 3.

5. «Методика выполнения измерений при разработке карты шума в городах и населенных пунктах», являющаяся основанием для принятия решений по установке дорогостоящих экранов и обеспечения финансирования работ.

В число перечисленных методик не входят методики выполнения измерений звукоизоляции и звукопоглощения материалов и конструкций по свободному полю. Контроль точности измерений проводят при аттестации методик и их разработке и не проводят при выполнении измерений для конкретных экранов. Все методики должны быть согласованы между собой по терминологии, методам измерений, применяемой аппаратуре.

Основной характеристикой для акустических экранов следует считать стандартную акустическую эффективность в дБ *А*, связанную с восприятием шума любого спектрального состава человеком.

## 4.6. Метрологическое обеспечение измерений акустического шума

Метрологическое обеспечение акустических измерений акустического шума было разработано в семидесятые годы. При этом были разработаны стандарты на методы акустических измерений, в том числе акустического шума, стандарты на технические требования к

шумоизмерительным приборам и методам испытаний и на метод их поверки. Разработаны Государственный первичный эталон единицы звукового давления в воздушной среде в диапазоне частот 2 Гц — 100 кГц по давлению и в диапазоне 1—100 кГц по свободному полю — ГОСТ 8.038—94 [28]. Разработаны вторичные эталоны на эти же диапазоны частот, а также рабочие эталоны в виде комплексов образцовых средств для поверки акустических измерительных приборов типа КОС-1, на диапазон частот 20 Гц — 100 кГц, ГОСТ 8.257—84, внедренные в 40 поверочных лабораториях территориальных органов Госстандарта и ведомств [29]. Была также разработана аппаратура для государственных испытаний шумоизмерительных приборов и проведены испытания с целью утверждения типа отечественной и зарубежной аппаратуры, фирм «Брюль и Кьер» и «Роботрон», внесенной затем в Госреестр средств измерений.

В настоящее время комплексы КОС-1 продолжают работать в РФ и странах СНГ и периодически, каждые 5 лет, проходят аттестацию во ВНИИФТРИ. Они требуют модернизации для расширения частотного диапазона от 20 до 2 Гц и поверки шумомеров 1-го класса точности, предусмотренной ГОСТ 8.257—84.

### 4.6.1. Поверка шумомеров

Поверка шумомеров всех классов точности может быть выполнена на новом аналоге комплекса образцовых средств — КОС-1, если его дополнительно укомплектовать приборами, приведенными в приложении к ГОСТ 8.257—84.

Установка требует модернизации и согласования с современной шумоизмерительной аппаратурой. На комплексе образцовых средств применен метод сравнения поверяемого прибора с эталонным микрофоном, поверенным на Государственном первичном эталоне единицы звукового давления в воздушной среде.

Измерения проводят в малогабаритной заглушенной камере, в камерах малого объема и по методу электростатического возбудителя. Абсолютную чувствительность приборов определяют с помощью акустического калибратора, поверенного на Государственном первичном эталоне.

### 4.6.2. Поверка образцовых источников шума

Образцовые источники шума поверяют в большой заглушенной камере по точному методу на звукоотражающей плоскости по ИСО 3745 и ГОСТ 12.1.024.

Измеряют уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровни звука $A$, а также характеристику направленности образцового источника шума. Вычисляют уровни звуковой мощности и корректированный уровень звуковой мощности. Технические характе-

ристики образцовых источников шума установлены в ГОСТ 12.1.025—81 (приложение 1).

Образцовый источник шума должен иметь размеры, не превышающие 0,5 м, и быть установлен на виброизолирующих прокладках. Он должен излучать постоянный, широкополосный шум без дискретных и узкополосных составляющих в диапазоне 100—10000 Гц. Показатель направленности образцового источника шума не должен превышать 6 дБ. Уровень звуковой мощности образцового источника шума не должен изменяться во времени, а также из-за изменений условий работы, например изменения напряжения питания и т. п., более, чем указано в табл. 4.16.

Таблица 4.16

**Допустимые отклонения уровней звуковой мощности образцового источника шума по ГОСТ 12.1.025**

| Средние геометрические частоты октавных полос, Гц | Средние геометрические частоты третьоктавных полос, Гц | Допустимые отклонения, дБ |
|---|---|---|
| 125 | 100—160 | ±1,0 |
| 250—4000 | 200—4000 | ±0,5 |
| 8000 | 5000—10000 | ±1,0 |

Паспортные характеристики образцового источника шума определяют точным методом по ГОСТ 12.1.024 в заглушенной камере с жестким полом.

В стандарте ИСО 6926 образцовый источник шума определяют как портативный источник звука на основе вентилятора, громкоговорителя или другого звукоизлучающего устройства, излучающего стабильный широкополосный шум с характеристиками, приведенными в табл. 4.17.

Таблица 4.17

**Характеристики образцового источника шума**

| Диапазон частот, Гц | Допустимые отклонения уровня звуковой мощности по ИСО 6926, дБ |
|---|---|
| 50—80 | ±2 |
| 100—160 | ±1 |
| 200—20000 | +0,5 |

Неопределенность измерений не должна превышать значений по ИСО 6926, приведенных в табл. 4.18.

Таблица 4.18

**Неопределенность результатов измерений характеристик образцового источника шума**

| Средние частоты октавных полос, Гц | Средние частоты третьоктавных полос, Гц | В заглушенной камере с жестким полом $\sigma_R$, дБ[1)] | В реверберационной камере $\sigma_R$, дБ[1)] |
|---|---|---|---|
| 63 | 50—80 | 2,0 | 2,5 |
| 125 | 100—160 | 0,8 | 1,0 |
| 250—800 | 200—1000 | 0,8 | 0,3 |
| 16000 | 12500—20000 | 0,3 | 0,4 |
| Характеристика *A* | | 0,3[2)] | <0,1[2)] |

Примечание — Оценка верхнего предела стандартного отклонения воспроизводимости уровня звуковой мощности образцового источника $\sigma_R$, дБ:

1) без учета колебаний уровня звуковой мощности;
2) при вычислении по третьоктавным полосам шума.

Приведенные в табл. 4.18 значения соответствуют доверительной вероятности 95 %, и истинное значение уровня звуковой мощности находится в пределах $\pm 1{,}96\ \sigma_R$, соответственно.

Показатель направленности образцового источника шума, измеренный в заглушенной камере с жестким полом, не должен превышать 6 дБ в диапазоне частот 100—10000 Гц для каждой третьоктавной полосы частот.

При измерении уровня звуковой мощности в заглушенной камере с жестким полом микрофон устанавливают на измерительной поверхности радиусом 2 м в измерительных точках, указанных в стандарте. Допускаются измерения при непрерывном перемещении микрофона по измерительной поверхности.

При измерении уровня звуковой мощности в реверберационной камере наименьший размер камеры не должен быть менее 4,0 м. Микрофон должен иметь равномерную частотную характеристику в диффузном звуковом поле. Число измерительных точек не должно быть менее шести. Время реверберации измеряют не менее чем в трех положениях образцового источника шума и шести положениях микрофона. Допускается измерять время реверберации при спаде уровня звукового давления на 10 или 15 дБ.

По данным измерений в третьоктавных полосах частот вычисляют уровень звуковой мощности для октавных полос и уровни звука *A*.

Измерения проводят в соответствии с ИСО 3745 и ИСО 3741.

## 4.7. Закономерности распространения шума в окружающей среде

Распространение шума основных городских источников (транспортных потоков, отдельных автомобилей, промышленных предприятий) является сложным процессом, связанным с рядом физических явлений, что затрудняет расчеты ожидаемых уровней шума в городской застройке и на селитебной территории и снижает их точность. В настоящее время отсутствуют какие-либо стандарты, которые содержали бы методы установления закономерностей распространения шума в городской среде. Поэтому при расчетах пользуются основными физическими законами, эмпирическими формулами, таблицами, вводят ряд упрощений и т. д.

Отдельные источники шума, например автомобили, на расстояниях свыше их удвоенного максимального размера можно рассматривать как сферические излучатели, звуковое поле которых характеризуется спадом звукового давления обратно пропорционально квадрату расстояния.

Однако транспортные потоки являются линейными источниками звука, и на расстояниях менее $l / \pi$ (где $l$ — длина источника) их звуковое поле представляет собой цилиндрическую волну, в которой звуковое давление обратно пропорционально $\sqrt{R}$, где R — расстояние до линейного источника. На больших расстояниях цилиндрические волны, обусловленные линейным источником, постепенно переходят в сферические волны. В общем случае звуковые волны, излучаемые реальными городскими источниками шума, имеют промежуточную структуру между этими двумя случаями и с той или иной долей вероятности могут быть аппроксимированы каким-либо одним видом источника шума.

Реальная картина усложняется также тем, что излучение шума от источника происходит обычно неравномерно в разные стороны. Это явление учитывают с помощью диаграммы направленности источника (или коэффициента направленности при аналитическом описании).

Излучение шума городским источником происходит обычно в полупространство (телесный угол $2\pi$), в некоторых случаях в двугранный угол (источник около пересечения двух стен здания, теле-

сный угол $\pi$) или даже трехгранный угол (дополнительно поверхность территории, телесный угол $\pi/2$).

С увеличением расстояния от источника шума происходит расширение поверхности фронта звуковой волны, что приводит к снижению интенсивности звука. В реальной атмосфере снижение звука с расстоянием оказывается более значительным из-за дополнительного поглощения звука, обусловленного классическим поглощением вследствие вязкости и теплопроводности воздуха, и молекулярным поглощением вследствие перераспределения энергии между молекулами воздуха с различными степенями свободы. Классическое поглощение обычно значительно меньше молекулярного поглощения, которое зависит от частоты звука, температуры и влажности воздуха.

Однако этим влияние атмосферы не ограничивается. Непрерывные изменения во времени и пространстве давления, плотности, температуры, влажности атмосферы приводят к частичному рассеиванию звуковых волн и искривлению звуковых лучей (их рефракции). Особенно сильно рефракция проявляется при наличии вертикального температурного градиента, который может возникать из-за теплообмена между поверхностью земли и атмосферой. Вследствие рефракции могут возникать зоны звуковой тени, в которые не попадает ни один звуковой луч от источника шума. В дневное время температура воздуха обычно убывает с высотой, и звуковые лучи изгибаются вверх. В ночное время при тихой погоде часто наблюдается обратное распределение температуры с высотой, и звуковые лучи изгибаются по направлению к земле, что увеличивает протяженность зон слышимости источника шума. На распространение звука в атмосфере влияет наличие ветра и вызываемых им турбулентностей атмосферы. Ветер, особенно при его направлении по ходу или против звуковых лучей, приводит к искривлению их хода и вызывает картину, подобную влиянию температурного градиента. Нередко влияние обоих этих процессов складывается или вычитается, давая ту или иную картину рефракции звуковых лучей.

Турбулентности атмосферы вызывают изменения скорости звука, флуктуации звукового давления (до 20—25 дБ при сильном ветре). При нахождении приемников звука (людей, помещений зданий) на небольшой высоте (до 2—3 этажа) на уровни шума заметное влияние оказывает его поглощение поверхностью земли, травяным покрытием, снегом, кустарниками и т. п. Однако в случае акустически жесткого покрытия поверхности территории (например асфальт, лед и т. п.) усиливается отражение звука от поверхности, что может привести к возрастанию защумленности точки приема звука. На распространение звука в городских условиях влияют также полосы зеленых насаждений, дающие дополнительное снижение шума и поглоще-

ние вредных выбросов транспорта и промышленных предприятий. Однако эти полосы для обеспечения заметной акустической эффективности должны быть достаточно плотными и широкими с заполнением подкронового пространства сплошным кустарником. Обычно это осуществимо только на окраинах городов при наличии резервных территорий.

Значительное снижение шума в городских условиях обеспечивают искусственные экраны (вертикальные стенки, насыпи, выемки, здания нежилого назначения вдоль транспортных магистралей и др.) или естественные препятствия (овраги, холмы и др.). При распространении шума за экраном возникает зона звуковой тени, протяженность которой зависит от высоты и длины экрана. Однако даже в середине зоны тени экран-стенка снижает шум на 10—15 дБ, редко — 20 дБ. Толстые экраны (экраны-дома) снижают шум на 25—30 и более дБ.

На зашумленность фасадов зданий дополнительно влияет отражение звука от них, которое может увеличивать уровни звука на 2—3 дБ.

## 4.8. Методы расчета ожидаемого уровня шума на территории городской застройки и в помещениях зданий от внешних источников шума

Оценку ожидаемого шумового режима на селитебных территориях города и в помещениях жилых и общественных зданий, обусловленного воздействием внешнего шума городских источников, а также выбор необходимых шумозащитных мероприятий проводят на основе акустического расчета уровней звука на территориях и в застройке.

В настоящее время отсутствуют стандарты, которые четко регламентировали бы метод таких расчетов. Поэтому на практике пользуются руководствами, пособиями и другой инструктивной литературой. В общих чертах метод подобных акустических расчетов приведен в главе СНиП II-12—77 и более подробно в «Руководстве по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума».

Акустический расчет состоит из следующих этапов:

1) выявление источников внешнего городского шума и определение их шумовых характеристик;

2) выбор расчетных точек на селитебной территории, около наружных ограждений зданий и внутри помещений жилых и общественных зданий;

3) разбивка рассматриваемой территории на участки, отличающиеся по условиям распространения шума;

4) расчет ожидаемых уровней шума в расчетных точках;

5) определение допустимых уровней шума для рассматриваемых территорий и помещений зданий;

6) оценка соответствия ожидаемых уровней шума допустимым уровням шума и определение (в необходимых случаях) требуемого снижения уровней шума в расчетных точках.

На последующих этапах по требуемым величинам снижения уровней шума выбирают и проектируют шумозащитные мероприятия и средства. В заключение выполняют проверочный расчет, цель которого убедиться в том, что выбранные шумозащитные мероприятия гарантируют требуемое снижение уровней шума.

Шумовые характеристики основных городских источников внешнего шума устанавливают на основании методов, описанных выше.

Расчетные точки вблизи фасадов зданий выбирают на расстоянии 2 м от них и на уровне середины окон первого и самого верхнего этажей (при необходимости — и на других этажах). Если расстояние от источника шума до здания превышает 100 м, то можно ограничиться только одной расчетной точкой на уровне верхнего этажа. Расчетные точки следует выбирать вне зоны звуковой тени здания.

Внутри помещения расчетную точку выбирают обычно в центре помещения, но не ближе 1 м от стен и не ближе 1,5 м от окна.

Расчетные точки на площадках отдыха микрорайонов, кварталов и групп жилых домов, на площадках детских дошкольных учреждений, на участках школ и т. п. следует выбирать на границе этих площадок, более близкой к источнику шума, и на высоте 1,5 м над уровнем территории.

Разбивку территории застройки на участки, отличающиеся по условиям распространения шума, проводят, если:

между источником шума и расчетной точкой расположены экраны, здания или какие-либо другие препятствия;

шум в расчетную точку поступает от двух или большего числа улиц или дорог;

улица или дорога в пределах участка меняет свое направление.

Каждый такой участок рассматривают как отдельный источник шума. Создаваемый ими в расчетной точке на территории эквивалентный уровень звука рассчитывают путем вычитания из эквивалентного уровня звука транспортного потока снижения уровней звука с расстоянием, из-за поглощения поверхностью территории, затухания звука в воздухе, экранирования, снижения полосами зеленых насаждений, из-за ограничения угла видимости. Эквивалентный уровень звука в расчетной точке на территории, обусловленный од-

новременным воздействием всех выделенных участков, рассчитывают суммированием уровней. Определяют эквивалентные уровни звука в 2 м от фасадов зданий, учитывая отражения от зданий. Определяют допустимые уровни шума в выбранных расчетных точках по СН 2.2.4/2.1.8.562—96 и МГСН 2.04—97. Ряд факторов в данном методе расчета не учитывается ввиду большой сложности учета влияния таких факторов. Поэтому при выборе шумозащитных мероприятий и расчете их параметров следует исходить из наиболее высоких значений ожидаемых уровней шума в расчетных точках.

## 4.9. Градостроительные и строительные средства защиты от шума

На основании результатов измерений и оценки уровней шума городских источников может быть установлена необходимость разработки и осуществления специальных мероприятий по защите от шума селитебных территорий, жилых и общественных зданий.

При выборе методов и средств защиты от шума следует учитывать, что в силу многообразия городских источников шума и особенностей распространения шума в городской застройке, решение проблемы требует обычно применения комплекса шумозащитных мероприятий, в основе которых лежат следующие принципы борьбы с городскими шумами:

снижение шума в источнике его возникновения с помощью административно-организационных и инженерно-технических методов;

снижение шума на пути его распространения от источника к защищаемому от шума объекту с помощью архитектурно-планировочных (градостроительных) и строительно-акустических методов;

снижение шума непосредственно в зданиях с помощью объемно-планировочных решений и конструктивно-строительных методов.

При проектировании или реконструкции застройки следует предусматривать в первую очередь архитектурно-планировочные методы, особенно функциональное зонирование городской территории с выделением селитебных, лечебных и рекреационных зон и отделением их от промышленных, коммунально-складских зон и основных транспортных коммуникаций. В первом эшелоне застройки, наиболее близком к источнику шума, размещают здания с более низкими требованиями к шумовому режиму (магазины, предприятия коммунально-бытового обслуживания населения, различные учреждения, гаражи и т. п.). Жилая застройка, учреждения здравоохранения, детские ясли, сады, школы, дома-интернаты, площадки отдыха должны размещаться, по возможности, во втором и последующих эшело-

нах застройки. При размещении зданий предпочтительно использовать такие композиционные приемы их группировки, которые позволяют создавать внутреннее замкнутое пространство, защищенное от источников шума самими зданиями. При этом фасады зданий, обращенные к источникам шума, следует защищать от него с помощью дополнительных мер, описанных ниже.

При отсутствии специальных шумозащитных средств и приемов группировки зданий последние следует располагать на определенном расстоянии от источников городского шума, зависящем от шумовой мощности этих источников. Так, расстояние от автодорог I и II категории до границы жилой застройки должно составлять не менее 200 м, а от автодорог III и IV — не менее 100 м. Для лечебно-курортных учреждений, домов отдыха и пансионатов эти расстояния должны составлять не менее 500 и 250 м, соответственно.

Расстояния от новых железнодорожных линий до границ жилой застройки без применения шумозащитных мер должны составлять не менее 200 м для железных дорог I и II категорий и не менее 150 м для железных дорог III и IV категорий. Расстояния от существующих железных дорог должны быть не менее 100 м.

Расстояния от границ территории морских и речных портов до границ участков жилой застройки при отсутствии шумозащитных мероприятий должны быть не менее 300 м от грузового района порта и не менее 100 м от пассажирского района порта. Минимальные расстояния от границ аэропорта или аэродрома до границ селитебных территорий составляют в зависимости от класса аэропорта, от направления оси взлетно-посадочной полосы, от трассы полета для аэродромов I класса и внеклассных 12—30 км, для аэродромов II класса — 11—23 км, для аэродромов III класса — 11—17 км, для аэродромов IV класса — 3—12 км, для аэродромов V класса — 2—8 км.

Минимальные расстояния от границ промышленных предприятий до границ селитебных территорий должны составлять от нескольких десятков метров до 1—2 км в зависимости от уровня внешнего шума промышленного предприятия. Более точные значения перечисленных расстояний должны определяться соответствующими расчетами. Применение шумозащитных мероприятий позволяет значительно снизить эти расстояния.

Уменьшению шумовой нагрузки на селитебные территории и на застройку способствует рациональная организация улично-дорожной сети города и упорядочивает транспортное движение на ней. Для этого необходимо:

проводить дифференциацию улиц и дорог по их назначению, скорости движения и составу транспортного потока;

использовать шумозащитные свойства рельефа местности при трассировке улиц и дорог;

в конфликтных ситуациях прокладывать участки улиц и дорог в тоннелях, крытых галереях или на эстакадах, оборудованных шумозащитными экранами;

проводить трассировку магистральных дорог скоростного и грузового движения в обход жилых районов и зон отдыха, принимать меры, предупреждающие сквозной проезд транзитных автомобилей через территорию микрорайонов;

осуществлять максимально возможное укрупнение межмагистральных территорий, уменьшать число перекрестков и других транспортных узлов, устраивать плавные сопряжения улиц и дорог;

создавать системы паркования автомобилей, предусматривающие крупные автостоянки и гаражи за границами центральных и жилых микрорайонов;

размещать, по возможности, параллельные участки автомагистралей и железных дорог в непосредственной близости друг от друга.

Часто ошибочно полагают, что заметное снижение шума в городских условиях могут обеспечить полосы зеленых насаждений. Однако для обеспечения такого эффекта каждая полоса насаждений должна иметь ширину не менее 10 м, быть непросматриваемой и состоять из густых посадок деревьев с плотным примыканием крон друг к другу и заполнением подкронового пространства посадками кустарника в виде живой изгороди или подлеска. Во многих случаях в городских условиях, особенно в центральной части города, такие посадки практически неосуществимы. Кроме того, шумозащитный эффект полосы из лиственных пород деревьев в зимнее время падает почти до нуля, а посадки из хвойных пород деревьев, обладающие круглогодичным шумозащитным эффектом, плохо растут в условиях городской среды, особенно вблизи магистралей.

Одним из наиболее эффективных строительно-акустических средств защиты от внешнего шума селитебных территорий и застройки является сооружение экранов. В качестве экранов применяют шумозащитные стенки из различных материалов — железобетона, кирпича, металла, дерева с биовлажностной пропиткой, акрила и др.; придорожные подпорные ограждающие стенки; искусственные и естественные элементы рельефа местности — грунтовые валы, насыпи, холмы, откосы выемок, террас, оврагов и т.п., а также их комбинации с шумозащитными стенками или специальные шумозащитные сооружения — многоэтажные гаражи вдоль транспортных магистралей, тоннели и др. В качестве экранов могут также служить здания с ненормируемым шумовым режимом или невысокими требованиями к нему (более 40 дБ) — магазины, предприятия

коммунально-бытового обслуживания населения, различные учреждения, протяженные ряды гаражей, особенно многоэтажных и т. п.

К экранам предъявляется ряд требований, выполнение которых должно обеспечивать необходимую акустическую эффективность экрана, безопасность его эксплуатации, органичное вписывание экрана в городской ландшафт.

Обеспечиваемое экраном снижение шума зависит от его высоты, длины, расстояния между экраном и источником шума, между экраном и защищаемым от шума объектом.

Для экранов в виде тонких вертикальных стенок снижение шума составляет в среднем 10—15 дБ, для экранов в виде зданий, насыпей и т. п. — 20—30 дБ. При прочих равных условиях акустическая эффективность экрана возрастает при увеличении его высоты, уменьшении расстояния между экраном и источником шума, при сооружении в верхней части экрана козырька шириной не менее 0,5 м, а также при облицовке поверхности экрана, обращенной к источнику шума, звукопоглощающим материалом.

При небольшой длине экрана звуковые лучи от источника шума огибают не только верхнюю, но и боковые кромки экрана, что приводит к усилению зашумленности пространства за ним. Для предотвращения этого явления следует предусматривать с двух боковых сторон боковые отгоны, т. е. по существу продолжение экрана, повернутое в плане на требуемый угол, позволяющий более полно защитить здания от внешнего шума. При размещении зданий за экраном их следует располагать возможно ближе к экрану, подальше от боковых кромок и следить, чтобы здания по высоте не выходили за пределы линии, проведенной от акустического центра источника шума через верхнюю кромку экрана. В условиях городской застройки экраны в виде вертикальных стенок, располагаемые вдоль транспортных магистралей, обычно позволяют защитить от шума здания не выше трех этажей и прилегающую к ним территорию.

Для обеспечения шумозащиты в случаях многоэтажных зданий, при близком расположении их к транспортной магистрали (в первом эшелоне), целесообразно сооружать так называемые шумозащитные дома, в которых приняты специальные меры защиты от шума.

Шумозащитные жилые дома делятся на:

дома со специальной архитектурно-планировочной структурой и объемно-пространственным решением, предусматривающими ориентацию в сторону источника городского шума (транспортной магистрали) окон подсобных помещений квартир и помещений внеквартирных коммуникаций, а также не более одной комнаты общего пользования в квартирах с тремя и более жилыми комнатами;

дома, окна и балконные двери которых обладают более высокой звукоизоляцией по сравнению с обычными типами окон и балконных дверей и снабжены специальными вентиляционными устройствами с глушителями шума;

дома комбинированного типа, в которых одновременно применены те же принципы защиты от шума, что и в домах первых двух типов.

Шумозащитные дома первого типа, в свою очередь, подразделяются на многосекционные, коридорные и коридорно-секционные. Каждая подгруппа имеет много разнообразных решений. Одно из сложившихся направлений массового внедрения в практику шумозащитных домов состоит в разработке шумозащитных блок-секций в составе действующих серий типовых проектов. Это позволяет комбинировать различные типы квартир по планировке и разнообразить внешний вид дома, что способствует улучшению эстетичности застройки.

Архитектурно-планировочная структура многосекционных шумозащитных домов отличается наличием только вертикальных внеквартирных связей через лестнично-лифтовой узел.

Архитектурно-планировочная структура шумозащитных домов коридорного типа характеризуется наличием не только вертикальных, но и протяженных горизонтальных внеквартирных связей, в виде коридоров или галерей с расположением их на каждом этаже или через этаж. Коридоры могут быть центральные или боковые. Более предпочтительны боковые коридоры, так как при этом окна всех квартир и кухонь могут быть ориентированы в «тихий» двор при сохранении их освещения естественным светом.

Шумозащитные дома коридорно-секционного типа представляют собой гибрид двух предыдущих типов, имеющий сложную архитектурно-планировочную структуру и позволяющий уменьшить число всех видов внеквартирных связей, приходящихся на единицу полезной площади.

Встречаются также шумозащитные дома со смешанной структурой, при которой различные части дома относятся к разным типам.

При выборе типа и расположения шумозащитного дома, кроме вопросов шумозащиты, должны также обязательно приниматься во внимание вопросы обеспечения нормативной инсоляции жилых помещений и повышения экономичности строительства и эксплуатации за счет снижения расхода материалов и уменьшения теплопотерь на единицу полезной площади.

Дополнительным достоинством шумозащитных домов, кроме обеспечения акустического комфорта в их помещениях, является то, что

они служат одновременно высокоэффективными акустическими экранами для расположенных за ними застроек и территорий.

В случае невозможности защиты от городского шума экранами или шумозащитными домами или при необходимости шумозащиты существующих зданий могут быть применены шумозащитные окна, обладающие высокой звукоизоляцией от внешнего шума (обычно 25—35 дБ). Повышение звукоизоляции обеспечивается за счет количества (2—3) и толщины стекол (применяются также стеклопакеты), толщины воздушного промежутка между ними, а также за счет применения уплотняющих прокладок (повышения герметичности притворов). Кроме того, должна быть обеспечена плотная заделка оконных блоков в стенных проемах. В настоящее время разработано достаточно большое число типов отечественных и зарубежных шумозащитных окон и витражей с глухим остеклением.

Для обеспечения нормативного воздухообмена помещений в ряде шумозащитных окон предусмотрены вентиляционные звукоизолированные клапаны.

В других шумозащитных окнах применено глухое остекление, что позволяет добиться более высокого снижения внешнего шума. Для обеспечения вентиляции помещений при применении таких окон используют централизованную систему принудительной вентиляции или индивидуальные вентиляционные элементы с глушителями шума.

Недостатком шумозащитных окон является зависимость тяги воздуха через них от времени года, особо в летний период, когда перепад температур значительно уменьшается.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛ. 4

ГОСТ 8.038—94. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений звукового давления в воздушной среде в диапазоне частот 2 Гц — 100 кГц.

ГОСТ 8.257—84. ГСИ. Шумомеры. Методика проверки.

ГОСТ 12.1.001—89. ССБТ. Ультразвук. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.003—83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.023—80. ССБТ. Шум. Методы установления значений шумовых характеристик стационарных машин.

ГОСТ 12.1.024—81. ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в заглушенной камере. Точный метод.

ГОСТ 12.1.025—81. ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в реверберационной камере. Точный метод.

ГОСТ 12.1.029—80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

ГОСТ 12.1.036—81. ССБТ. Шум. Допустимые уровни в жилых помещениях и общественных зданиях.

ГОСТ 12.1.050—86. ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах.

ГОСТ 12.2.030—2000. ССБТ. Машины ручные. Шумовые характеристики. Нормы. Методы испытаний.

ГОСТ 12.2.098—84. ССБТ. Кабины звукоизолирующие. Общие требования.

ГОСТ 12.2.107—85. ССБТ. Станки металлорежущие. Допустимые шумовые характеристики.

ГОСТ 12.2.110—85. ССБТ. Компрессоры воздушные поршневые стационарные общего назначения. Нормы и методы определения шумовых характеристик.

ГОСТ 12.4.077—79. ССБТ. Ультразвук. Метод измерения звукового давления на рабочих местах.

ГОСТ 12090—80. Частоты для акустических измерений. Предпочтительные ряды.

ГОСТ 16297—80. Материалы звукоизоляционные и звукопоглощающие. Методы измерений.

ГОСТ 16372—93. Машины электрические вращающиеся. Допустимые уровни шума.

ГОСТ 17168—82. Фильтры электронные октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 17187—81. Шумомеры. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 20444—85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики.

ГОСТ 23337—78. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий.

ГОСТ 23426—79. Шум. Методы измерения звукоизоляции кабин наблюдения и дистанционного управления в производственных зданиях.

ГОСТ 23499—79. Материалы и изделия строительные звукопоглощающие звукоизоляционные. Классификация и общие технические требования

ГОСТ 23628—79. Шум. Методы измерения звукоизоляции кожухов.

ГОСТ 23941—2002. Шум машин. Методы определения шумовых характеистик. Общие требования.

ГОСТ 24146—85. Зрительные залы. Метод измерения времени реверберации.

ГОСТ 24210—80. Материалы полимерные рулонные и плиточные для полов. Методы определения звукоизолирующих свойств.

ГОСТ 26602.3—99. Блоки оконные и дверные. Метод определения звукоизоляции.

ГОСТ 27019—86. Материалы полимерные рулонные для полов. Ускоренный метод определения звукоизоляционных свойств.

ГОСТ 27243—87. Шум. Ориентировочный метод определения уровня звуковой мощности шума машин при помощи образцового источника звука.

ГОСТ 27296—87. Защита от шума в строительстве. Звукоизоляция ограждающих конструкций зданий. Методы измерения.

ГОСТ 27409—97. Шум. Нормирование шумовых характеристик стационарного оборудования. Основные положения.

ГОСТ 27679—88. Защита от шума в строительстве. Санитарно-техническая арматура. Метод лабораторных измерений шума.

ГОСТ 28100—89. Защита от шума в строительстве. Глушители шума. Методы определения акустических характеристик.

ГОСТ 30457—97. Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума на основе интенсивности звука. Измерение в дискретных точках. Технический метод.

ГОСТ 30530—97. Шум. Методы расчета предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин.

ГОСТ 30683—2000 (ИСО 11204—95). Шум машин. Измерение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках. Метод с коррекциями на акустические условия.

ГОСТ 30691—2001. Шум машин. Заявление и контроль значений шумовых характеристик.

ГОСТ Р 41.51—99. (Правила ЕЭК ООН № 51). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автотранспортных средств, имеющих не менее четырех колес, в связи с производимым ими шумом.

ГОСТ Р 8.563—96. ГСИ. Методики выполнения измерений.

ГОСТ Р 8.568—97. ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.

ГОСТ Р 51400—99. Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Технические методы для малых переносных источников шума в реверберационных полях в помещениях с жесткими стенами и в специальных реверберационных камерах.

ГОСТ Р 51401—99 (ИСО 3744—94). Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью.

ГОСТ Р 51402—99 (ИСО 3746—95). Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над звукоотражающей плоскостью.

ГОСТ Р 51616—2000. Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний.

ISO 140. Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements (Part 1—12).

ISO/DIS 230-5:2000. Test code for machine tools – Part 5: Determination of the noise emission.

ISO/DIS 354:2001. Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room.

ISO 362:1995. Acoustics — Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles — Engineering method.

ISO 717-1:1996. Acoustics. — Rating of sound insulation in building and of buildings elements.

ISO 1680-1:1986. Acoustics — Test code for the measurement of noise emitted by rotating electrical machinery — Part 1: Engineering method for free-field conditions over a reflecting plane.

ISO 1680-2:1986. Acoustics — Test code for the measurement of airborne noise by rotating electrical machinery — Part 2: Survey method.

ISO 1996-1:1982. Acoustics — Description and measurement of environmental noise — Part 1: Basic quantities and procedures.

ISO 1996-2:1987. Acoustics — Description and measurement of environmental noise — Part 2: Acquisition of data pertinent to land use.

ISO 1996-3:1987. Acoustics — Description and measurement of environmental noise — Part 3: Application to noise limits.

ISO 1999:1990. Acoustics — Determination of occupational noise exposure and estimation of noise induced impairment.

ISO 2151:1972. Measurement of airborne noise emitted by compressor/ primemover-units intended for outdoor use.

ISO 2204:1979. Acoustics — Guide to International Standards on the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on human beings.

ISO 2922:1975. Acoustics — Measurement of noise emitted by vessels on inland water-ways and harbours.

ISO 2923:1996. Acoustics — Measurement of noise on board vessels.

ISO 3095:1975. Acoustics — Measurement of noise emitted by railbound vehicles.

ISO TR 3352:1974. Acoustics — Assessment of noise with respect to its effect on the intelligibility of speech (confirmed 1990).

ISO 3381:1976. Acoustics — Measurement of noise inside railbound vehicles (confirmed 1987).

ISO 3382:1975. Acoustics — Measurement of reverberation time in auditory.

ISO 3740:1980. Acoustics — Description of sound power levels of noise sources Guidelines for the use basic standards and for the preparation of noise test codes.

ISO 3741:1988. Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Precision methods for broad-band sources in reverberation rooms.

ISO 3742:1988. Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Precision methods for discrete-frequency and narrow-band sources in reverberation rooms.

ISO 3743-1:1994. Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure. Engineering method for small, movable sources in reverberant fields. — Part 1: Comparison method in hard-walled test rooms .

ISO 3743-2:1994. Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Engineering method for small, movable sources in reverberant fields. — Part 2: Method for special reverberation test rooms.

ISO 3744:1994. Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Engineering method in an essentially free filed over a reflecting plane.

ISO 3745:1977. Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for anechoic and semi-anechoic rooms.

ISO 3746:1995. Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane.

ISO 3747:1998. Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using pressure — Comparison method for use in sites.

ISO 3891:1978. Acoustics — Procedure for describing aircraft noise heard on the ground.

ISO 4412-1:1991. Hydraulic fluid power — Test code determination of airborne noise levels – Part 1: Pumps.

ISO 4412-2:1991. Hydraulic fluid power — Test code determination of airborne noise levels – Part 2: Motors.

ISO 4412-3:1991. Hydraulic fluid power — Test code determination of airborne noise levels — Part 3: Pumps — Method using aparallelepiped microphone array.

ISO 4869-1:1990. Acoustics — Hearing protectors — Part 1: Subjective method for the measurement of sound attenuation.

ISO 4869-2:1994. Acoustics — Hearing protectors. — Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn (former DIS 8353.2).

ISO/TR 4869-3:1989. Acoustics — Hearing protectors — Part 3: Simplified method for the measurement of insertion loss of ear-muff type protectors for quality inspection purposes (confirmed 1995).

ISO 4871:1996. Acoustics — Declaration and verification of noise emission values of machinery and equipment.

ISO 4872:1978. Acoustics — Measurement of airborn noise emitted construction equipment intended for outdoor use — Method for checking compliance with noise limits.

ISO 5128.1980 Acoustics — Measurement of noise inside motor vehicles.

ISO 5129 1987. Acoustics — Measurement of noise inside aircraft

ISO 5130 1982 Acoustics — Measurement of noise emitted by stationary road vehicles — Survey method (confirmed 1993)

ISO 5131 1996 Acoustics — Tractors and machinery for agriculture and forestry — Measurement of noise at the operators position — Survey method

ISO 5135 1984 Acoustics — Determination of sound power levels of noise from air terminal devices, high/low velocity/pressure assemblies, dampers and valves by measurement in a reverberation room

ISO 5136 1990 Acoustics — Determination of sound power radiated into a duct by fans — In-duct method.

ISO 5725 1986 Precision of test method — Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests

ISO 6190 1988 Acoustics — Measurement of sound pressure levels of gas turbine installations for evaluating environmental noise — Survey method

ISO 6393 1998 Acoustics — Measurement of exterior noise emitted by earth-moving machinery — Stationary test condition

ISO 6395 1988 Acoustics — Measurement of exterior noise emitted by earth-moving machinery — Dynamic test conditions

ISO 6396 1992 Acoustics — Measurement of noise emitted by earth-moving machinery at the operators position — Simulated work cycle test conditions

ISO 9614-1 1993 Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity — Part 1 Measurement at discrete points.

ISO 6798.1995 Reciprocating internal combustion engines — Measurement of emitted airborne noise — Engineering method and survey method.

ISO 6926 1990. Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Requirements for the performance and calibration of reference sound sources

ISO 7182 1984. Acoustics — Measurement at the operators position of airborne noise emitted by chain saws

ISO 7188 1985 Acoustics — Measurement of noise emitted by passenger cars under conditions representative of urban driving

ISO 7196 1995 Acoustics — Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements

ISO 7216 1992 Acoustics — Agricultural and forestry wheeled tractors and self-propelled machines — Measurement of noise emitted when in motion

ISO 7235 1991 Acoustics — Measurement procedures for ducted silencers — Insertion loss, flow noise and total pressure loss

ISO 7574-1 1985 Acoustics — Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment — Part 1 General considerations and definitions

ISO 7574-2:1985. Acoustics — Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment — Part 2: Methods for stated values for individual machines.

ISO 7574-3:1985. Acoustics — Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment — Part 3: Simple (transition) method for stated values for batches of machines.

ISO 7574-4:1985. Acoustics — Statistical methods for determining and verifying stated noise emission values of machinery and equipment — Part 4: Methods for stated values batches of machines.

ISO 7779:1988. Acoustics — Measurement of airborne noise emitted by computed and business equipment.

ISO/TR 7849:1987. Acoustics — Estimation of airborne noise emitted by machinery using vibration measurement.

ISO 7917:1987. Acoustics — Measurement at the operators position of airborne noise emitted by brush saws.

ISO 7960:1995. Airborne noise emitted by machine tools — Operating conditions for woodworking machines.

ISO 8297:1994. Acoustics — Determination of sound power levels of multi source industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment — Engineering method.

ISO/FDIS 8528-10:1998. Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets — Part 10: Measurement of airborne noise by the enveloping surface method.

ISO 8579-1:1993. Acceptance code for gears — Part 1: Determination of airborne sound power levels emitted by gear units.

ISO 8960:1991. Refrigerators, frozen-food storage cabinets and food freezers for household and similar use — Measurement of emission of airborne acoustical noise.

ISO 9052-1:1989. Acoustics. Dynamic stiffness. — Part 1. Materials using under floating floors in dwellings.

ISO 9207:1995. Acoustics — Manually portable chain-saws with internal combustion engine — Determination of sound power levels — Engineering method (grad 2).

ISO 9295:1988. Acoustics — Measurement of high frequency noise emitted by computer and business equipment.

ISO 9296:1988. Acoustics — Declared noise emission values of computer and business equipment.

ISO 9612:1997. Acoustics — Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment.

ISO 9613-1:1993. Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmospheric.

ISO 9613-2:1996. Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 2: General method of calculation.

ISO 9614-1:1993. Acoustics — Determination of sound power of noise sources using sound intensity — Part 1: Measurement at discrete points.

ISO 9614-2:1996. Acoustics — Determination of sound power of noise sources using sound intensity — Part 2: Measurement by scanning.

ISO 9645:1990. Acoustics — Measurement of noise emitted by 2-wheeled mopeds in motion — Engineering method.

ISO 9902:1993. Textile machinery acoustics Determination of sound pressure levels and sound power levels emitted by textile machines — Engineering and survey methods.

ISO 10302:1996. Acoustics — Method for the measurement of airborne noise emitted by small air-moving devices.

ISO 10494:1993. Gas turbines and gas turbine sets — Measurement of emitted airborne noise — Engineering/survey method.

ISO 10843:1997. Acoustics — Method for the description and physical measurement of single impulses or series of impulses.

ISO 10844:1994. Acoustics — Specification of test tracks for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles.

ISO 10847:1997. Acoustics — In situ determination of insertion loss of outdoor barriers of all types.

ISO 11094:1991. Acoustics — Test code for the measurement of airborne noise emitted by power lawn mowers, lawn tractors, lawn and garden tractors, professional mowers, and lawn and garden tractors with mowing attachments.

ISO 11200:1995. Acoustics — Noise emitted by machinery and equipment — Guidelines for the use of basic standards for the determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions.

ISO 11201:1995. Acoustics — Noise emitted by machinery and equipment — Measurement of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions — Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane.

ISO 11202:1995. Acoustics — Noise emitted by machinery and equipment — Measurement of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions — Survey method in situ.

ISO 11203:1995. Acoustics — Noise emitted by machinery and equipment — Determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions from the sound power level.

ISO 11204:1995. Acoustics — Noise emitted by machinery and equipment — Measurement of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions — Method requiring environmental corrections.

ISO 11546-1:1995. Acoustics — Determination of sound insulation performance of enclosures — Part 1: Measurement under laboratory conditions (for declaration purposes).

ISO 11546-2:1995. Acoustics — Determination of sound insulation performance of enclosures — Part 2: Measurement in situ (for acceptance and verification purposes).

ISO/TR 11688-1:1995. Acoustics — Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment — Part 1: Planning.

ISO/DTR 11688-2:1998. Acoustics — Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment — Part 2: Introduction into physics of low-noise design.

ISO/DTR 11689:1996. Acoustics — Procedure for the comparison of noise emission data for machinery and equipment.

ISO 11690-1:1996. Acoustics — Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery — Part 1: Noise control strategies.

ISO 11690-2:1996. Acoustics — Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery — Part 2: Noise control measures.

ISO/TR 11690-3:1997. Acoustics — Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery — Part 3: Sound propagation and noise prediction in workrooms.

ISO 11691:1995. Acoustics — Measurement of insertion loss of ducted silencers without flow — Laboratory survey method.

ISO 11819-1:1997. Acoustics — Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise — Part 1: The statistical pass-by method.

ISO 11820:1996. Acoustics — Measurement on silencers in situ.

ISO 11821:1997. Acoustics — Measurement of the in-situ sound attenuation of a removable screen.

ISO 11957:1996. Acoustics — Determination of sound insulation performance of cabins — Laboratory and in-situ measurements.

ISO 12101:1996.Acoustics — Noise emitted by machinery and equipment — Rules for the drafting and presentation of a noise test code.

ISO/FDIS 13261-1:1998. Sound power rating of air-conditioning and air-source heat pump equipment — Part 1: Non-ducted outdoor equipment.

ISO/FDIS 13261-2:1998. Sound power rating of air-conditioning and air-source heat pump equipment — Part 2: Non-ducted indoor equipment.

ISO/FDIS 13332:2000.Reciprocating internal combustion engines — Test code for the measurement of structure-borne noise emitted from high-speed and medium-speed reciprocating internal combustion engines measured at the engine feet.

ISO/FDIS 14163:1998. Acoustics — Guidelines for noise control by silencers.

ISO/DIS 14509:2000. Small craft — Measurement of sound pressure level of airborne sound emitted by motor craft.

IEC 60651:1979. Electroacoustics — Sound level meters.

IEC 60804:1985. Electroacoustics — Integrating-averaging sound level meters.

IEC 60942:1998. Electroacoustics — Sound calibrators.

IEC 61260:1995. Electroacoustics — Octave-band and fractional-octave-band filters.

IEC 61043:1993. Electroacoustics — Instruments for the measurement of sound intensity — Measurements with pairs of pressure sensing microphones.

IEC 61672-1:2002. Electroacoustics — Sound level meters — Part 1: Specifications.

IEC 61252:1993. Electroacoustics — Specifications for personal sound exposure meters.

DIN 52212. Bauakustische Prufungen. Bestimmung des Schallabsorptionsgrades im Hallraum.

ASTM 522—73. Standard Method of Test for Airflow Resistance of Acoustical Materials.

СН 4396—87. Санитарные нормы допустимой громкости звучания звуковоспроизводящих и звукоусилительных устройств в закрытых помещениях и на открытых площадках.

СН 2.2.4/2.1.8.562—96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

СанПиН 2.2.4/2.1.8.582—96. Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения.

СанПиН 2.2.1/2.1.1.567—96. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

СН 2.2.4/2.1.8.583—96. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки.

СНиП II-12—77. Защита от шума. Нормы проектирования.

СНиП 2.08.01—89. Жилые здания.

СНиП 2.08.02—89. Общественные здания и сооружения.

СНиП 2.09.04—87. Административные и бытовые здания.

МГСН 2.04—97. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях.

МГСН 3.01—96. Жилые здания.

1. Защита от шума: Справочник проектировщика — М.: Стройиздат, 1974.

2. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий: Пособие к МГСН 2.04—97. — М.: Москомархитектура, 1998.

3. Проектирование защиты от шума и вибрации инженерного оборудования в жилых и общественных зданиях: Пособие к МГСН 2.04—97. — М.: Москомархитектура, 1998.

4. Проектирование защиты от транспортного шума и вибрации жилых и общественных зданий: Пособие к МГСН 2.04—97. — М.: Москомархитектура, 1999.

5. Руководство по расчету и проектированию шумоглушения в промышленных зданиях (НИИСФ). — М.: Стройиздат, 1982.

6. Руководство по проектированию и расчету звукоизоляции ограждающих конструкций зданий (НИИСФ). — М.: Стройиздат, 1983.

7. Руководство по расчету и проектированию шумоглушения вентиляционных установок (НИИСФ). — М.: Стройиздат, 1982.

8. Руководство по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума (НИИСФ). — М.: Стройиздат, 1982.

9. Руководство по изменению и расчету акустических характеристик звукопоглощающих материалов (НИИСФ). — М.: Стройиздат, 1979.

10. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости (НИИСФ). — М.: Стройиздат, 1981.

11. Руководство по разработке карт шума улично-дорожной сети городов (НИИСФ). — М.: Стройиздат, 1980.

12. Рекомендации по установлению зон ограничения жилой застройки в окрестностях аэропортов гражданской авиации из условий шума (НИИСФ). — М.: Стройиздат, 1987.

13. Рекомендации по расчету и проектированию звукопоглощающих облицовок (НИИСФ). — М.: Стройиздат, 1984.

14. Рекомендации по устройству звукопоглощающих конструкций в производственных зданиях с применением минераловатных акустических изделий (ЦНИИ Промзданий. НИИСФ). — М.: Стройиздат, 1986.

15. Рекомендации по расчету и проектированию звукоизолирующих ограждений машинного оборудования (НИИСФ). — М.: 1989.

16. Рекомендации по измерению и оценке внешнего шума промышленных предприятий (НИИСФ). — М.: 1989.

17. Пособие по расчету и проектированию многослойных звукопоглощающих систем (конструкций) (к СНиП II-12—77). (НИИСФ). — М.: 1987.

18. Измеров Н. Ф., Суворов Г. А., Куралесин Н. А. и др. Физические факторы. Эколого-гигиеническая оценка и контроль. Практическое руководство в 2-х т. Т. 2. — М.: Медицина, 1994.

19. Воздействие на организм человека опасных и вредных экологических факторов. Метрологические аспекты: В 2-х т. Под ред. Л. К. Исаева. — Т. 1. — М.: ПАИМС, 1997.

20. Контроль физических факторов производственной среды опасных для человека / Под ред. В. Н. Крутикова, Ю. И. Брегадзе, А. Б. Круглова. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

21. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник в 2-х т. Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1978.

22. Современные метрологические проблемы физико-технических измерений / Под ред. В. К. Коробова. — М.: Изд-во стандартов, 1988.

23. Измеров Н. Ф., Суворов Г. А., Куралесин Н. А., Овакимов В. Г. Инфразвук как фактор риска здоровью человека (гигиенические, медико-биологические и патогенетические механизмы). — Воронеж: Истоки, 1998.

24. Кацнельсон М. У., Селиверстов Б. А., Цукерников И. Е. Снижение шума машин пищевых производств. — М.: Агропромиздат, 1986.

25. Коньков А. В. Современные средства измерений шума в воздухе // Мир измерений. — 2001. — №№ 7, 8.

26. Лопашев Д. З., Цукерников И. Е. Акустический шум и его измерение. // Мир измерений. — 2001. — №№ 7, 8.

27. Лопашев Д. З., Осипов Г. Л., Федосеева Е. Н. Методы измерения и нормирования шумовых характеристик. — М.: Изд-во стандартов, 1983.

28. Лопашев Д. З., Коньков А. В., Масюков В. Т. Государственный первичный эталон единицы звукового давления в воздушной среде // Измерительная техника. — 1974. — № 7.

29. Лопашев Д. З., Коньков А. В., Масюков В. Т., Кузнецов С. В. Комплекс образцовых средств для проверки акустических измерительных приборов // Измерительная техника. — 1974. — № 7.

30. Осипов Г. Л., Лопашев Д. З., Федосеева Е. Н. Акустические измерения в строительстве. — М.: Стройиздат, 1978.

31. Сергеев М. В., Куриленко Ю. В. Новые методы измерений и санитарной оценки шума // Мир измерений. — 2001. — №№ 7, 8.

32. Суворов Г. А., Шкаринов Л. Н., Денисов Э. И. Гигиеническое нормирование шумов и вибраций. — М.: Медицина, 1984.

33. Шубин И. Л. Акустическое благоустройство городов (на примере г. Москвы): Сборник трудов Российского акустического общества. — Т. 3. — М., 2000.

# Глава 5. ЗАПЫЛЕННОСТЬ АТМОСФЕРЫ

М.В. Балаханов, Е.В. Лесников

## 5.1. Аэрозольное состояние вещества как активный фактор воздействия на организм человека

Наличие в атмосфере взвешенных частиц объясняется как естественным образованием, так и антропогенным происхождением [19]. Естественное образование взвешенных частиц связано с пыльными бурями, извержениями вулканов, выбросами пыльцы и спор растениями и грибами, размножением бактерий и вирусов и т.д. Основными источниками запыленности атмосферы являются технологические процессы промышленных производств, работающие установки, машины, механизмы и транспортные средства. Многие технологические процессы загрязняют атмосферу туманами или дымами, которые в ряде случаев являются устойчивыми аэрозольными образованиями.

Аэрозолями или аэродисперсными системами называются системы, состоящие из газообразной среды и взвешенных в ней частиц конденсированной дисперсной фазы (твердой, жидкой или многофазной). Особенностью аэрозольного состояния является чрезвычайно высокая удельная поверхность единицы массы вещества, что обусловливает высокую активность его взаимодействия с организмом.

*Пылью* (dust) называют дисперсную систему из твердых частиц, находящихся в газовой среде во взвешенном состоянии.

*Туманом* (mist) называют дисперсную систему из жидких частиц, находящихся в газовой среде во взвешенном состоянии.

*Дымом* (smoke) называют дисперсную систему в виде твердых частиц, находящихся в газовой среде во взвешенном состоянии, образующихся при сгорании различных веществ и состоящих из продуктов конденсации и окисления их паров.

Более подробной классификации и системы обозначений аэрозолей не существует из-за неопределенности ряда характеристик аэрозолей и различия между научными и принятыми в обыденной жизни обозначениями различных типов аэрозолей [27].

Движение аэрозолей в атмосфере складывается из движения самого воздуха и относительного движения частиц и воздуха, которое

сводится для не очень крупных частиц к их оседанию под воздействием силы тяжести. Для высокодисперсных аэрозолей законы движения рассмотрены, например, в [38]. Общий характер движения аэрозолей в атмосфере следующий. Выходящая из какого-либо источника струя или облако аэрозоля движется вместе с ветром и одновременно рассеивается под действием атмосферной турбулентности. Молекулярная диффузия в этом процессе не играет существенной роли, за исключением очень тонкого воздушного слоя у поверхности соприкасающихся с аэрозолем тел [27]. Важно отметить, что частицы городской пыли размером менее 10 мкм содержат более 80 % всех тяжелых металлов и вредных органических соединений (толуол, бензол, бензопирен и т.д.)

Для определения степени воздействия на организм человека веществ, находящихся в аэрозольном состоянии, вводятся следующие основные параметры:

дисперсный состав,

концентрация аэрозоля,

и дополнительный, в некоторых случаях приобретающий роль доминирующего,

форма и строение частиц.

**Дисперсный состав** аэрозольных частиц описывается функцией распределения частиц по величине в определенном диапазоне размеров. Пыль почти всегда является полидисперсной, т.е. функция распределения частиц по размерам весьма широка: от $10^{-2}$ до 100 мкм. Обычно за размер частицы принимается ее диаметр. Для определения диаметра в качестве критерия используют различные физические модели, методы измерений и усреднения измеряемых величин. Поэтому различают, например, оптический, аэродинамический и диффузионный диаметры, массовый и счетный медианные диаметры, «средний» размер частиц и т. д. [27].

**Концентрация,** то есть мера количества вещества в единице объема воздуха, в зависимости от характера воздействия аэрозольного вещества на организм, может определяться различными способами. При подсчете числа частиц, приходящихся на заданный интервал размеров, определяется счетная концентрация, имеющая размерность $м^{-3}$, при подсчете действующей на организм массы пыли определяется массовая концентрация частиц, имеющая размерность $г/м^3$. Эти определения концентрации являются основными. При определении относительного объема, занимаемого дисперсной фазой аэрозоля, вычисляется объемная (относительная) концентрация частиц, являющаяся безразмерной величиной. В качестве меры химико-биологической активности аэрозоля может также определяться удельная по-

верхность аэрозольных частиц, содержащихся в единице объема воздуха, имеющая размерность $м^{-1}$. Концентрация частиц изменяется в весьма широких пределах (массовая изменяется от $10^{-8}$ до $10^{5}$ $мг/м^{3}$, счетная — от 1 до $10^{12}$ $м^{-3}$).

**Форма частиц** пыли может быть самой разнообразной: от простейших сплошных сфер, эллипсоида и кристаллов, до сложнейших неправильных многосвязных образований и кластеров, что может существенно влиять как на механизмы воздействия на организм человека, так и на точность измерения параметров пыли теми или иными приборами [3].

## 5.2. Механизмы воздействия аэрозолей на человека

### 5.2.1. Общая характеристика воздействия аэрозольных частиц на человека

Жидкие частицы или растворимые компоненты твердых частиц могут абсорбироваться тканями там, где они осаждаются. Частицы могут вызвать коррозионное, радиационное или другое повреждение вблизи места осаждения, если они сами коррозионны, радиоактивны или способны инициировать повреждение иного характера. Нерастворимые частицы могут переноситься в разные части дыхательного тракта или тела, где они могут абсорбироваться и вызывать биологический эффект.

По характеру воздействия на организм аэродисперсные системы, представляющие опасность для здоровья человека, разделяют на два вида: радиоактивные и нерадиоактивные. Радиоактивные дисперсные системы могут иметь опасные для организма как газообразную среду так и дисперсную фазу. Здесь рассматриваются только нерадиоактивные дисперсные системы[1]. Они могут быть разделены на две группы:

аэрозоли веществ, опасное влияние которых обусловлено механическим или химическим воздействием на кожу и другие покровы человеческого тела или проникновением через них в организм (свинцовая пыль, пыль тяжелых металлов, шлаковата, асбестовое и стекловолокно, кислотные туманы и соли) [8];

аэрозоли, вредное влияние которых проявляется путем воздействия на органы дыхания или проникновения через них в организм; при этом возникают специфические (фиброгенные) заболевания

[1] Положения, касающиеся отбора проб вдыхаемых частиц крупных размеров, в равной мере относятся к обоим видам аэрозольных систем.

органов дыхания и газообмена, заболевания лимфатической системы и желудочно-кишечного тракта.

При сравнении результатов биологического действия аэрозольных частиц различной формы, размеров, минерального и химического состава их величину выражают через эквивалентный диаметр сферических частиц на основе равных объемов, масс или аэродинамических свойств. Наибольшее употребление имеет условная единица, называемая аэродинамическим диаметром, характеризующим количественные показатели первичного отложения неволокнистых частиц с диаметром более 0,5 мкм за счет гравитационного и инерционного эффектов.

Длительное воздействие повышенных концентраций пыли приводит к тяжелым профессиональным заболеваниям органов дыхания — пневмокониозам и пылевым бронхитам. Нозологическая форма пневмокониозов (от латинских слов pneumo— легкие и conio — пыль) определяется вещественным составом аэрозолей.

При накоплении пыли в легких развивается пневмокониоз — стадийный прогрессирующий процесс формирования фиброза с комплексом воспалительных и компенсаторно-приспособительных реакций в бронхах и легочной ткани. Результатом этих изменений является дыхательная, а на поздних тяжелых стадиях заболевания — сердечная недостаточность.

Фактически развитие заболеваний органов дыхания зависит от количества пыли, накопившейся в легких. Основными факторами, влияющими на поступление пылевых частиц в организм и их задержку в органах дыхания, являются концентрация пыли во вдыхаемом (ингалируемом) воздухе, время ее воздействия, дисперсный состав частиц, их плотность, растворимость, объем дыхания в зависимости от тяжести труда, а также индивидуальная чувствительность организма.

Механизм первичной задержки частиц в органах дыхания в основном определяется инерционным и гравитационным осаждением, а также диффузией. Задержка частиц в различных отделах органов дыхания в основном определяется их дисперсностью и аэродинамическим диаметром.

Среди аэрозольной запыленности воздуха особое место занимает асбестовая пыль, которая при достаточно длительном и интенсивном воздействии вызывает онкологические заболевания [5]. При этом канцерогенное воздействие связано не с самим материалом, а с длиной его волокон. Асбестовая пыль присутствует не только в рабочих зонах строительной индустрии, но и в других промышленных и бытовых помещениях, и на открытом воздухе из-за широкого примене-

ния асбестосодержащих материалов в строительных конструкциях, в транспортных машинах и механизмах, например во фрикционных устройствах и тормозных колодках.

Загрязнение воздуха металлами, обусловленное технологическими процессами на предприятиях черной и цветной металлургии, приводит к повышению уровня заболеваемости у персонала, к болезням эндокринной системы, крови, органов дыхания, кожи, к злокачественным новообразованиям, повышению врожденных аномалий, осложнению беременности и родов. Наибольшая доля загрязнений воздуха металлами в городах и рабочих зонах неметаллургических предприятий приходится на свинец, частицы которого присутствуют в выхлопах двигателей [6].

Воздействие пыли органических веществ, присутствующих в воздухе рабочей зоны, вызывает у человека самые различные реакции — от нежелательных сенсорных эффектов до токсического действия. Оценка влияния отдельных органических компонентов на организм не всегда бывает адекватной, так как они обычно встречаются в смесях.

Особый вид загрязнений атмосферы представляют биоаэрозоли. Запыленность воздуха фармацевтических и биопроизводств строго контролируется как по счетной концентрации аэрозольных частиц, так и по содержанию микроорганизмов. При этом к нежелательным последствиям приводит и попадание микроорганизмов из воздуха рабочей зоны в технологическую среду, и выделение биоорганических веществ, получаемых в результате технологического процесса, в воздух рабочей зоны, а затем и в атмосферу [12].

Интермиттирующий и постоянный характер воздействия пылевого фактора при одинаковой пылевой нагрузке на легкие имеют различное значение. При интермиттирующем воздействии и наличии пиковых концентраций, превышающих средние в 5 и более раз, скорость выведения пыли из легких уменьшается, что приводит к более выраженному фиброгенному действию. Поэтому величина пиков концентраций пыли и продолжительность их действия должны быть ограничены [14]. Воздействие на организм высоких концентраций пыли приводит к развитию хронических неспецифических заболеваний легких и верхних дыхательных путей.

Фракции содержащихся в воздухе частиц, которые попадают в тело человека при вдыхании, зависят от свойств частиц, скорости и направления движения воздуха вблизи тела, от частоты дыхания и от того, осуществляется ли дыхание через нос или через рот. Вдыхаемые частицы затем могут осесть где-нибудь в дыхательном тракте либо выдыхаются из него. Место осаждения и вероятность выдыха-

ния зависят от свойств частиц, дыхательного тракта, характера дыхания и других факторов.

Вероятности вдыхания, осаждения, реагирования на осаждение и очищения могут существенно изменяться от одного индивидуума к другому. Тем не менее, можно определить и согласовать требования к избирательному отбору проб содержащихся в воздухе частиц по их размеру, когда цель отбора проб имеет отношение к охране здоровья. Эти требования представляют собой соотношения между аэродинамическим диаметром и фракциями, подлежащими улавливанию или измерению, которые приближаются к фракциям, проникающим в области дыхательного тракта при средних условиях. Измерение, произведенное согласно данным требованиям, по всей вероятности, даст в результате лучшее соотношение между измеренной концентрацией и риском заболевания.

### 5.2.2. Влияние дисперсного состава аэрозолей на характер воздействия на человека

Наименьшее отложение в альвеолярной ткани характерно для пылевых частиц диаметром менее 0,5 мкм. В основном в альвеолах легких накапливаются пылевые частицы с аэродинамическим диаметром ≤2,5 мкм. Частицы диаметром до 8 мкм проникают в альвеолы здорового человека в небольшом количестве, составляя несколько процентов от вдыхаемых частиц, однако они гораздо медленнее выводятся из легких. Аэрозольные частицы диаметром до 10 мкм оседают в основном в бронхах и являются одной из основных причин развития пылевого бронхита.

Дисперсный состав проб для различных фракций аэрозольных частиц, отбираемых в целях их использования при оценке воздействий на состояние здоровья людей, сформулирован стандартом ИСО 7708:1995 [7] в виде соглашения (конвенции) о вдыхаемых, торакальных и дыхательных фракциях. Требования к внеторакальным и трахеобронхиальным фракциям определяются, исходя из соглашения о вдыхаемых, торакальных и дыхательных фракциях. Все зависимости выражаются через массовые доли, но их можно использовать и тогда, когда предполагается произвести расчет общей площади поверхности или счетной концентрации частиц в собранном материале. Соглашения не следует использовать совместно с ограничениями, определенными в других терминах, например для предельно допустимых значений длины и диаметра взвешенных в воздухе волокон.

В качестве основного в стандарте ИСО 7708:1995 используется определение аэродинамического диаметра частицы: это диаметр сферы, имеющей плотность 1 г/см$^3$, при той же конечной скорости осаждения в спокойном воздухе под действием силы тяжести, что и у

данной частицы, находящейся в тех же условиях по температуре, давлению и относительной влажности.

Для частиц с аэродинамическим диаметром менее 0,5 мкм вместо аэродинамического диаметра следует использовать диффузионный диаметр частицы. Под диффузионным диаметром частицы подразумевается диаметр сферы при том же коэффициенте диффузии, что и у данной частицы, находящейся в тех же условиях по температуре, давлению и относительной влажности.

Термин «вдыхаемая» принят в стандарте потому, что он наиболее естественно описывает значение той фракции, для которой используется. В прошлом в терминологии имела место некоторая путаница. Термин «вдыхаемый» или «ингалируемый» («inhalable») использовался в конце 70-х годов в европейской англоязычной литературе с тем же значением, что и в стандарте ИСО 7708:1995. В документе ИСО/ТР 7708:1983 и измененной Европейской директиве 88/642/ЕЕС [41] для данной фракции использовался термин «инспирируемый» (inspirable), в английском языке эти термины эквивалентны. Ранее Управление по охране окружающей среды США (EPA) использовало термин «вдыхаемая» (inhalable) для обозначения фракции, называемой сейчас «общее содержание торакальных микрочастиц» или «$PM_{10}$» [30]. В стандарте ИСО 7708:1995 он повторно принят в своем первоначальном значении.

Термин «дыхательная» или «респирабельная» (respirable) использовался в английском языке, как минимум, с 1952 г. для фракции, проникающей в безресничные (дыхательные) пути. В документе ИСО/ТР 7708:1983 был принят термин «альвеолярный», отчасти из-за сходства терминов «дыхательный» (respirable) и «вдыхаемый» (inspirable), но, поскольку в стандарте ИСО 7708:1995 используется термин «вдыхаемый» (inhalable), этот аргумент больше не действителен, и в стандарте повторно был принят привычный термин «дыхательный» (respirable). В русской литературе термины «вдыхаемый» и «дыхательный» очень близки, поэтому наряду с последним часто используются «альвеолярный» и «респирабельный». Во французском и немецком языках такой путаницы нет, но для ясности стандартом ИСО 7708:1995 рекомендуется применять следующие термины:

| Немецкий язык | Французский язык | Английский язык | Русский язык |
|---|---|---|---|
| einatembar | inhalable | inhalable | вдыхаемый |
| alveolengängig | alvéollaire | respirable | дыхательный, (альвеолярный, респирабельный) |
| thorakal | thoracique | thoracic | торакальный |

**Вдыхаемая фракция** — это массовая доля общего числа содержащихся в воздухе частиц, которые вдыхаются через нос и рот.

Величина вдыхаемой фракции зависит от скорости и направления движения воздуха, от частоты дыхания и других факторов. По условиям отбора проб признается, что вдыхаются только те содержащиеся в воздухе частицы, которые находятся в зоне дыхания, т.е. вблизи носа или рта на расстоянии до 50 см от лица человека. Кривая целевого отбора проб для приборов, улавливающих вдыхаемую фракцию, при усреднении по всем направлениям ветра, должна соответствовать кривой для скоростей ветра $u < 4$ м/с. Процентное содержание $E_i$ содержащихся в воздухе частиц с аэродинамическим диаметром $D$, мкм, подлежащих улавливанию, задается следующим уравнением

$$E_i = 50\ (1 + \exp\ [-0{,}06D]). \qquad (5.1)$$

Экспериментальных данных по вдыхаемой фракции для $D > 100$ мкм еще не существует, и для крупных частиц уравнение (5.1) применять не следует.

Для скоростей ветра $u > 4$ м/с предлагается использовать уравнение

$$E_i = 50\ (1 + \exp\ [-0{,}06D]) + 10^{-3}\ u^{2{,}75} \exp\ [0{,}055D)]. \qquad (5.2)$$

Его не следует применять для $D > 90$ мкм или $u > 9$ м/с, которые являются предельными значениями для экспериментальных данных.

**Внеторакальная** (или экстраторокальная) фракция — это массовая доля вдыхаемых частиц, которым не удается проникнуть дальше гортани, а **торакальная** фракция — это массовая доля вдыхаемых частиц, которые проникают дальше гортани. Кривая целевого отбора проб для приборов, улавливающих торакальную фракцию, должна быть следующей. По соглашению о вдыхаемой фракции процентное содержание $E_t$ улавливаемых частиц с аэродинамическим диаметром $D$ задается интегральной функцией логарифмически нормального распределения с медианой 11,64 мкм и геометрическим средним квадратическим отклонением 1,5. Полученные зависимости проиллюстрированы на рис. 5.1, где видно, что 50 % общего числа содержащихся в воздухе частиц с $D \leq 10$ мкм находятся в торакальной фракции.

**Трахеобронхиальная фракция** — это массовая доля вдыхаемых частиц, которые проникают дальше гортани, но которым не удается проникнуть в безресничные дыхательные пути, а **дыхательная фракция** — это массовая доля вдыхаемых частиц, которые проникают в безресничные дыхательные пути.

Для генеральной совокупности **группа высокого риска** (дети, либо больные или немощные) кривая отбора проб для дыхательной фракции задается интегральной функцией логарифмически нормального распределения с медианным диаметром 2,5 мкм и геометрическим средним квадратическим отклонением 1,5.

Для целевой генеральной совокупности **здоровые взрослые** процентное содержание $E_R$ частиц по **соглашению о дыхательной фракции** задается интегральной функцией логарифмически нормального распределения с медианным диаметром 4,25 мкм и геометрическим средним квадратическим отклонением 1,5.

Внеторакальная фракция рассчитывается как $(E_t - E_t)$, а трахеобронхиальная — как $(E_t - E_R)$ для каждого аэродинамического диаметра $D$. Трахеобронхиальная фракция для группы высокого риска используется тогда, когда в состав подвергаемой внешнему воздействию генеральной совокупности людей входят дети, либо больные или немощные.

Определение общего числа содержащихся в воздухе частиц как всех частиц, окруженных воздухом, в данном объеме воздуха ведет к тому, что часто представляется невозможным измерение этой величины, поскольку все измерительные приборы в определенной степени являются избирательными по размеру.

**Требования к отбору проб** определяются как целевые технические условия на приборы для отбора проб, которые для каждого аэродинамического диаметра частицы приближенно выражают:

в случае соглашения о вдыхаемой фракции — отношение массовой концентрации частиц, попадающих в дыхательный тракт, к соответствующей массовой концентрации частиц в воздухе перед тем, как на них окажет влияние присутствие подвергаемого внешнему воздействию человека и само вдыхание; т.е. это целевые технические условия на приборы для отбора проб, когда предметом рассмотрения является вдыхаемая фракция;

в случае прочих соглашений — отношение массовой концентрации частиц, попадающих в определенную область дыхательного тракта, к массовой концентрации частиц, попадающих в дыхательный тракт, т. е.:

**по соглашению о внеторакальной фракции** — это целевые технические условия на приборы для отбора проб, когда предметом рассмотрения является внеторакальная фракция;

**по соглашению о торакальной фракции** — это целевые технические условия на приборы для отбора проб, когда предметом рассмотрения является торакальная фракция;

**по соглашению о трахеобронхиальной фракции** — это целевые технические условия на приборы для отбора проб, когда предметом рассмотрения является трахеобронхиальная фракция;

**по соглашению о дыхательной фракции** — это целевые технические условия на приборы для отбора проб, когда предметом рассмотрения является дыхательная фракция.

Представленные в стандарте ИСО 7708:1995 формулы, таблицы и кривые, аппроксимирующие вдыхаемую фракцию и фракции, проникающие дальше гортани и в безресничные дыхательные пути, носят названия соглашений о вдыхаемой, торакальной и дыхательной фракциях. Эти кривые, приведены на рис. 5.1. Исходя из них, рассчитаны соглашения о внеторакальной и трахеобронхиальной фракциях, приведенные на рис. 5.2.

Приборы, используемые для отбора проб, должны удовлетворять соглашению об отборе проб, соответствующему той области дыхательного тракта, где осаждение подлежащего замеру вещества может привести к возникновению биологического эффекта. Например, соглашению о вдыхаемой фракции следует отдавать предпочтение в тех случаях, когда вещество может стать причиной поражения в любом месте его осаждения; соглашению о торакальной фракции следует отдавать предпочтение в тех случаях, когда областью осаждения являются легочные проводящие дыхательные пути (бронхи), а соглашению о дыхательной фракции — в тех случаях, когда областью осаждения является область газообмена, простирающаяся от дыхательных бронхов до альвеол.

У детей и взрослых с определенными заболеваниями легких трахеобронхиальная область в большей степени подвержена осаждению

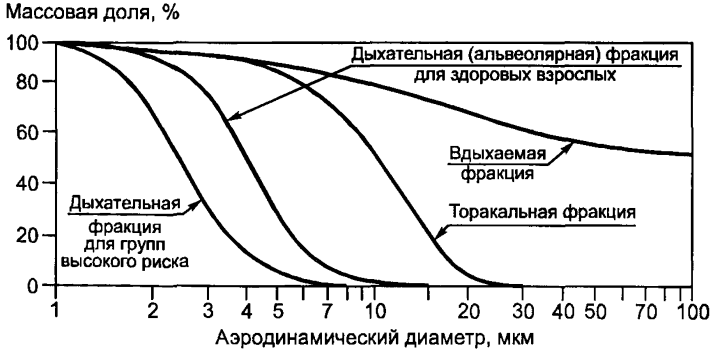



**Рис. 5.1. Соглашения о вдыхаемой, торакальной и дыхательной фракциях по стандарту ИСО 7708:1995**

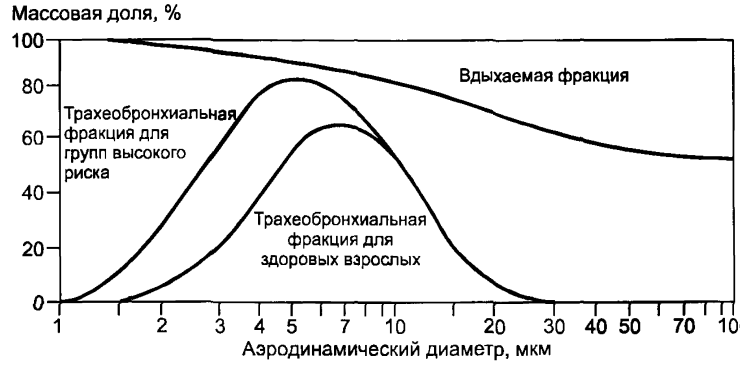



**Рис. 5.2. Соглашения о внеторакальной и трахеобронхиальной фракциях по стандарту ИСО 7708:1995**

частиц с небольшим аэродинамическим диаметром, чем у здоровых взрослых, что тоже следует учитывать при проведении измерений.

Приборы можно использовать для улавливания отдельных фракций согласно указанным условиям либо для улавливания нескольких фракций одновременно.

Изменение условий отбора проб — весьма сложное взаимодействие переменных, определяющее вхождение и проникновение частиц в дыхательный тракт, при этом неизбежны следующие приближения и допущения:

а) величина вдыхаемой фракции зависит от движения воздуха — его скорости и направления, от частоты дыхания и от того, осуществляется ли дыхание через нос или рот. Значения, приведенные в условии вдыхания, являются представительными значениями для частоты дыхания и усреднены для всех направлений ветра. Это подходит для человека, подвергаемого одинаковому воздействию ветров всех направлений либо подвергаемого преобладающему воздействию ветра сбоку или сзади, однако в условии обычно недооценивается вдыхаемая фракция более крупных частиц для человека, обычно обращенного к ветру лицом;

б) величины дыхательной и торакальной фракций различны для разных людей и изменяются в зависимости от характера дыхания; условия обязательно являются приближениями к среднему случаю;

в) каждое соглашение аппроксимирует фракцию, проникающую в какую-то область, но не фракцию, осаждающуюся там. Вообще фракция должна осесть, чтобы произвести биологический эффект. В этом случае условия приведут к завышенной оценке потенциального биологического эффекта. Так, например, в соглашении о дыхатель-

ной фракции завышенно оценивается доля очень мелких частиц, которые осаждаются в безресничных дыхательных путях, так как большая часть данной фракции выдыхается, не осаждаясь. Часто эти очень мелкие частицы не имеют решающего значения при измерениях массовой концентрации пыли в отбираемой пробе, но существенны при измерениях счетной концентрации;

г) соглашение о торакальной фракции аппроксимирует только одну ее реализацию: при дыхании через рот, которая больше ее реализации при дыхании через нос. Следовательно, по этому соглашению может недооцениваться «худший случай» реальной внеторакальной фракции, который имеет место при дыхании через нос.

Конструирование приборов для отбора проб, характеристики которых точно соответствуют перечисленным соглашениям, может оказаться невозможным. В любом случае, экспериментальная ошибка при испытаниях таких приборов и возможная зависимость от каких-либо факторов, помимо аэродинамического диаметра, означают, что возможно лишь констатировать вероятность того, что характеристика прибора укладывается в определенные пределы.

Очень важно при использовании различных источников информации обращать внимание на ее происхождение, так как в зависимости от времени, языка, страны публикации возможно различное толкование терминов.

В Англии для угольной пыли существовали следующие нормы запыленности [19]:

| Вещество | Дисперсный состав (интервал размеров), мкм | ПДК, $см^{-3}$ |
|---|---|---|
| Антрацитовая пыль | 1—5 | 650 |
| Другие угольные пыли | 0,15—5 | 860 |
| Каменная пыль | 0,5—5 | 450 |

В Германии для отбора количества проб, которое попадает в альвеолярную область, в VDI 2265 [40] и в TRGS 900 [39] определена тонкая фракция пыли. Используемое определение следует Йоханнесбургскому соглашению 1959 г., которое действовало в ряде европейских стран. В соответствии с этим соглашением, для частиц с аэродинамическим диаметром 5,0 мкм степень прохождения через предварительный отделитель составляет 50 %, и для частиц с аэродинамическим диаметром 7,1 мкм она уменьшается до 0 % [39]. Для сравнения на рис. 5.3 представлена в виде штриховой кривой тонкая

фракция пыли по Йоханнесбургскому соглашению, которое берется в Германии за основу для измерения тонкой фракции.

Если сравнить новое соглашение по отбору проб, установленное стандартом ИСО 7708:1995 для дыхательной (альвеолярной) фракции, с Йоханнесбургским соглашением, то можно увидеть согласование у очень тонких частиц до аэродинамического диаметра порядка 2,5 мкм. У частиц с диаметрами порядка 2,5—6,5 мкм по Йоханнесбургскому соглашению накапливается более значительная весовая доля, чем по соглашению для альвеолярной фракции. В противоположность этому частицы с диаметром 7,1—15 мкм накапливаются только по соглашению для альвеолярной фракции, во всяком случае, в небольшом количестве. Предполагается, что у аэрозолей с высоким содержанием небольших частиц общее собранное количество по Йоханнесбургскому соглашению обычно более значительно, чем по соглашению ИСО для альвеолярной фракции.

С февраля 1993 г. европейской организацией по нормам и стандартам CEN был утвержден стандарт EN 481 [37], который в сентябре 1993 г. был введен в Германии как DIN / EN 481 [33]. Соглашения по этому стандарту аналогичны приведенным в ИСО 7708:1995 и в ACGIH [29]. В Германии применялись и сейчас применяются нормы и соглашения или конвенции по отбору проб, которые в ряде деталей отличаются от стандарта ИСО. Эти конвенции установлены, во-

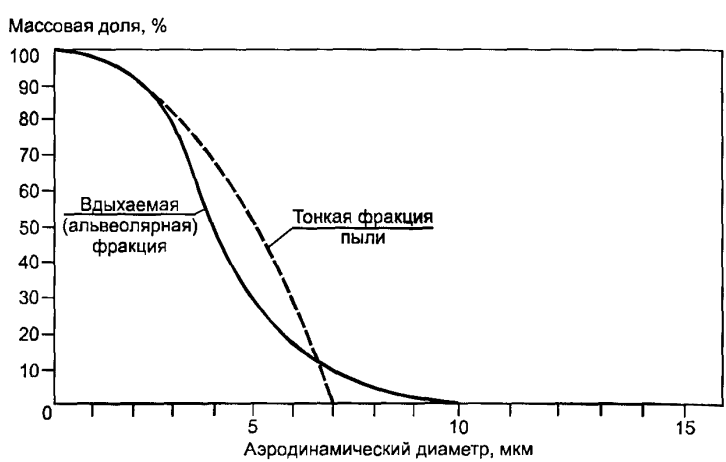



**Рис. 5.3. Сравнение тонкой фракции пыли по Йоханнесбургскому соглашению и соглашению о вдыхаемой (альвеолярной) фракции по стандарту ИСО 7708:1995**

первых, в TRGS 900 [39] и в списке величин МАК [34], а, во-вторых, — в VDI 2265 [40].

По документам TRGS и VDI 2265 фракция вдыхаемой пыли соответствует количеству пыли, которое отбирается пробоотборником при скорости всасывания 1,25 м/с ±10 %. При скорости воздуха в окружающей среде 1 м/с и более высокой рекомендуется отбирать пробы с помощью пробоотборника с кольцевой щелью в горизонтальном положении, отбор проб соответственно этому определению относительно легко осуществим.

В США Управление по охране окружающей среды (EPA) использует разделение частиц пыли на три фракции: $PM_{10}$, $PM_4$ и $PM_{2,5}$ [30], очень схожее со стандартом ИСО 7708:1995, а предельно допустимые концентрации для минеральных и неметаллических аэрозолей могут выражаться и в единицах счетной концентрации. В России действует также гравиметрический метод определения массовой концентрации взвешенных частиц пыли — ГОСТ 17.2.4.05—83 [4], устанавливающий определение разовых и среднесуточных концентраций частиц пыли в диапазоне 0,04...10 мг/м$^3$, без ограничений на дисперсный состав. Методическими указаниями МУ 4436—87 [11], используемыми в Руководстве Р 2.2.755—99 для оценки показателей вредности и опасности аэрозолей [14], задан верхний предел размеров частиц преимущественно фиброгенного действия. Существует мнение, что лучшим показателем вредности пыли является не массовая или счетная концентрация, а удельная величина поверхности (м$^2$/м$^3$) частиц.

## 5.3. Нормирование параметров аэрозольного воздействия

Нормирование величин, характеризующих воздействие аэрозолей, обусловлено показателями вредности и опасности самого воздействующего фактора, механизмами осаждения частиц (инерционными, седиментационными или диффузионными), а также имеющимися методами и приборами для измерения параметров аэрозоля.

Аэрозоли преимущественно фиброгенного воздействия относятся к **физическим**, аэрозоли различных химических веществ, соединений, получаемые химическим синтезом, в том числе некоторые вещества биологической природы (антибиотики, витамины, гормоны, ферменты, белковые препараты) — к **химическим**, а микроорганизмы-продуценты, живые клетки и споры, содержащиеся в препаратах, патогенные микроорганизмы — к **биологическим** вредным факторам [1].

При гигиенических исследованиях воздействия пыли прежде всего необходимо решить вопрос о методе измерения параметров пыли, в частности, нужно ли измерять счетную концентрацию ($м^{-3}$) или массовую ($мг/м^3$) и, как отмечалось ранее, важно знать, в каком диапазоне размеров частицы оказывают наибольшее воздействие. Перечень международных стандартов ИСО по контролю качества воздуха насчитывает более 30 наименований, предусматривающих определение фракционного состава воздуха, определение как массовой, так и счетной концентрации отдельных компонентов загрязнителей различными методами: гравиметрическим, электронной и оптической микроскопии, мембранной фильтрации [26].

Установление предельных допустимых концентраций пыли — проблема особой трудности, требующая обширного статистического материала и времени. В атмосфере могут задаваться как предельно допустимые концентрации (ПДК), так и ориентировочные безопасные уровни воздействия вредных веществ (ОБУВ), выраженные в $мг/м^3$. Нормы ПДК и ОБУВ для наиболее распространенных загрязнителей приведены в табл. 5.1 [9].

Таблица 5.1

**Нормы ПДК и ОБУВ**

| Среда | Исследуемый параметр | ρ, $10^3$ кг/м³ | ПДК, мг/м³ (максимальная разовая) | ОБУВ, мг/м³ |
|---|---|---|---|---|
| АТМОСФЕРА | Пыль неорганическая с содержанием диоксида кремния, %: | | | |
| | выше 70 (динас и др.) | 2,6—3,2 | 0,16 | |
| | 70—20 (шамот, цемент затвердевший и др.), | 1,85—2,2 | 0,3 | |
| | ниже 20 (доломит и др.) | 1,85—2,2 | 0,5 | |
| | Пыль асбестосодержащая [с содержанием хризотил-асбеста до 10 % (по асбесту)], асбест, асбестовый сланец | 1,8—2,76 | 0,06 (среднесуточная) | |
| | Пыль костной муки (в пересчете на белок), кость слоновая | 1,85—1,92 | | 0,01 |
| | Пыль стекловолокна, стекло кварцевое техническое | 1,8—2,0<br>1,18—2,2 | | 0,06 |

В списке особо вредных аэрозолей содержатся также полициклические ароматические углеводороды и другие органические соединения, сульфаты, нитраты, соли других кислот и сотни других веществ. Анализ химического состава аэрозолей представляет отдельную достаточно сложную задачу. Здесь перечислены лишь основные методы, используемые для получения этих данных. Классическими являются методы хроматографии и «мокрой химии», когда состав аэрозолей определяют после осаждения аэрозольной пробы на фильтр. В последнее время развиваются в основном оптические и рентгеновские спектроскопические и спектрометрические методы: метод PIXE, ионнолучевой, метод атомной масс-спектроскопии, инфракрасной, флуоресцентной и фотоакустической спектроскопии и ряд других.

Исследование атмосферы с целью определения ее загрязненности различными видами микроорганизмов является необходимым звеном санитарно-эпидемиологических мероприятий, проводимых в рамках общей программы контроля за состоянием окружающей среды. Регулярный мониторинг проводится в различных природных и урбанизированных условиях.

Наиболее существенным источником микробного загрязнения окружающей среды являются животноводческие и птицеводческие хозяйства, предприятия пищевой промышленности и предприятия, использующие в технологическом процессе различные биологические штаммы-продуценты. В загрязненном воздухе рабочей зоны таких предприятий возможно наличие высоких концентраций (до $10^6$ микробных клеток в 1 $м^3$) различных видов микроорганизмов, являющихся источником возникновения ряда гнойно-воспалительных и инфекционно-аллергических заболеваний органов дыхания человека. Большое значение имеет и контроль микробной загрязненности воздуха в медицинских учреждениях, например в инфекционных больницах, родильных домах, в детских дошкольных и образовательных учреждениях и т.д. Контроль за микробной загрязненностью атмосферы особенно актуален для городов-мегаполисов, характерной чертой которых является наличие многочисленных зон скопления людей, таких как транспорт, обслуживающие учреждения, места отдыха и так далее, в которых создаются благоприятные условия для быстрого распространения воздушно-капельных инфекций. Таким образом, разработка методов и соответствующего приборного оборудования для экспресс-анализа воздушной и водной сред, позволяющих на общем фоне загрязнения определять его биологическую составляющую и, по возможности, идентифицировать видовую принадлежность, является чрезвычайно актуальной проблемой. Данный вывод подтверждается резким увеличением в 90-е годы числа научных публикаций, посвященных данной теме.

## 5.4. Общая характеристика методов и приборов измерения параметров запыленности воздуха

Измерение дисперсных параметров пыли является трудной технической задачей, что обусловлено тем, что пыль является сложной многопараметрической системой [17]. Методы измерения параметров пыли можно разделить на две основные группы: методы, основанные на предварительном осаждении, и методы без предварительного осаждения. [23].

Основным преимуществом методов первой группы является возможность измерения массовой концентрации. К недостаткам следует отнести цикличность измерения, высокую трудоемкость, низкую чувствительность, что обусловливает длительность пробоотбора до нескольких часов при измерении малых концентраций. Для методов первой группы используют приборы предварительного осаждения, которое может быть осуществлено путем седиментации или инерционного осаждения частиц с помощью термо- или электропреципитатора. При этом размеры частиц могут быть определены по скорости их осаждения, например оптическим методом. Если частицы электрически заряжены, то их скорость и размер могут быть определены по скорости их движения в электрическом поле. Определение концентрации частиц производится либо путем счета частиц визуально, либо с применением современных средств (видеокамера, фотография).

В качестве базового для определения массовой концентрации частиц принят метод прокачивания аэрозоля через фильтр с помощью отсасывающего компрессора.

Основной проблемой при использовании методов, основанных на предварительном осаждении частиц, является получение представительной пробы. Эффективность этих методов зависит от условий отбора проб и неопределенностей, вносимых пробоотборным устройством и связанных с неизбежными искажениями внутри прибора. Кроме того, выполнение условий изокинетичности в общем случае невозможно из-за непостоянства скорости аэродисперсной среды. Условия изокинетичности выполняются только в случае равенства по величине и направлению скорости всасывания аэрозоля в прибор и внешней скорости течения.

Первыми приборами, разработанными для отбора проб аэрозоля, были инерционные, которые появились в конце XIX — середине XX веков. Типичными приборами такого типа являются импакторы и импиджеры, конифуги, термо- и электропреципитаторы с автоматическим исследованием частиц фотоэлектрическими методами.

Один из перспективных методов измерения концентрации пыли — пьезоэлектрический, при котором возможны два варианта использования: изменение частоты колебаний пьезокристалла при осаждении на его поверхность пыли и за счет электрических импульсов, возникающих при соударении частиц пыли с пьезокристаллом. Применяют также радиоизотопные и фотоэлектрические методы, основанные на определении концентрации осевшей на фильтре пыли по изменению коэффициента поглощения радиационного или оптического излучения до и после осаждения частиц аэрозоля на фильтр.

Свободными от недостатков методов измерения с предварительным осаждением частиц аэрозоля являются приборы без предварительного осаждения частиц.

Эти приборы используют в основном оптические и электрические методы измерения параметров аэрозоля. По сравнению с другими методами, применяемыми для этих целей, оптические методы обладают рядом преимуществ: они быстродействующие, не вносят искажений в исследуемый объект и не изменяют его свойства, дают возможность проведения дистанционных измерений [25].

Оптические методы измерения основаны на использовании свойств рассеянного и поглощенного в аэрозольной среде оптического излучения. Наибольшее распространение получили:

методы, основанные на измерении поглощения оптического излучения аэрозолем;

методы, основанные на измерении параметров индикатрисы рассеянного излучения; в том числе:

метод счета частиц по измерению интенсивности рассеянного излучения.

Метод, основанный на измерении коэффициента поглощения оптического излучения, является наиболее простым. Согласно закону Бугера-Бэра (при предположении однократности рассеяния) коэффициент поглощения слоя аэрозолей длиной $L$ равен

$$\frac{I}{I_0} = \exp -[f(d)\, NL], \tag{5.3}$$

где $I_0$ — интенсивность зондирующего излучения, $I$ — интенсивность излучения, прошедшего слой аэрозоля, $N$ — счетная концентрация частиц, $f(d)$ — сечение экстинкции частиц аэрозоля, предположительно сферической формы, и при условии, что

$$\frac{\pi d}{\lambda} \geq 5,\ f(d) \cong \frac{\pi d^2}{2},$$

где $d$ — диаметр частиц аэрозоля, $\lambda$ — длина волны зондирующего излучения.

Таким образом, данный метод позволяет определить оптическое сечение частиц и может применяться при известном диаметре частиц $d$ для определения объемной концентрации частиц. При измерении полидисперсной среды обычно производят калибровку приборов другими методами, например гравиметрическими. Применение данного метода измерения предполагает или знание дисперсного состава аэрозолей, или постоянства его дисперсного и физико-химического состава в процессе эксплуатации прибора при его предварительной калибровке.

Индикатриса рассеянного излучения является более информативным параметром и позволяет определить функцию распределения частиц по размерам, счетную концентрацию частиц, объемную концентрацию частиц в рамках определенных модельных представлений о форме частиц (например, сфера).

Обычно используют так называемый метод малоуглового рассеяния [28], использующий явление дифракции Фраунгофера на сферах.

Индикатриса рассеяния $I(\beta)$ в приближении Фраунгофера может быть записана в виде

$$I(\beta)=\frac{c}{\beta^2} I_0 \int_0^{\infty} f(\rho)\rho^2 J_1^2(\rho\beta)\, d\rho, \qquad (5.4)$$

где $c$ — нормирующий множитель, $\beta$ — угол рассеяния, $\rho=\frac{\pi d}{\lambda}$, $I_0$, $\lambda$ — интенсивность и длина волны зондирующего излучения, $f(\rho)$ — функция распределения частиц по $\rho$, $J_1(\rho\beta)$ — функция Бесселя 1-го рода первого порядка.

При определении $f(\rho)$ по текущим значениям индикатрисы решение уравнения (5.4) имеет вид [18]

$$f(\rho)=-\frac{c}{\rho}\int_0^{\infty} h_T(\rho\beta)\, T(\beta)\, d\beta, \qquad (5.5)$$

где $$I(\beta)=\Theta(\beta)-\Theta(\infty);\ \Theta(\beta)=\frac{\beta^3 * I(\beta)}{I_0};$$

$$h_T(x) = -2\pi Y_1(x) * [2xJ_0(x) - J_1(x)] - 4, \qquad (5.6)$$

где $Y_1(x)$ — функция Неймана, $J_0(x)$ — функция Бесселя 1-го рода нулевого порядка.

При справедливости допущения о кусочно-постоянном характере $f(\rho)$ уравнение (5.4) может быть трансформировано в систему линейных уравнений, которая затем решается с помощью компьютера

[18]. Значение нормирующего множителя $c$ и величина счетной концентрации $\overline{N}$ определяются с помощью закона Бугера-Бэра.

На этом принципе измерения построены приборы фирмы Malvern (Англия), Frich (Германия) и МИД-5 (Россия).

Для измерения малых концентраций частиц аэрозолей широко используются счетчики частиц, основанные на измерении интенсивности рассеянного частицей света. При этом в момент измерения в освещаемом объеме счетчика находится только одна частица. Импульсы рассеянного света регистрируются фотоприемником и поступают на амплитудный анализатор или аналогово-цифровой преобразователь. Таким образом, определяется не только счетная концентрация частиц, но и их дисперсный состав, объемная концентрация. К приборам этой серии необходимо отнести счетчики фирмы Hiac-Royco (США), АЗ-5, ПК. ГТА 0,3-002, ПКЗВ-906, «Монитор-93Б» (Россия).

Параметры счетчика частиц в существенной степени зависят от угла рассеяния, под которым регистрируется свет. Обычно в счетчиках используют углы рассеяния равные 90° или близкие к 0°. Счетчики с углом 0° целесообразно применять для регистрации частиц, коэффициент преломления которых изменяется в широких пределах, поскольку в области малых углов определяющую роль играет дифракционная составляющая, которая мало зависит от материала частиц.

Однако счетчики аэрозольных частиц обладают существенным недостатком, связанным с необходимостью отбора пробы из потока частиц, что влечет за собой неизбежные неопределенности измерения дисперсного состава и счетной концентрации.

Электрические методы измерения параметров аэрозоля можно подразделить на индукционный, контактно-электрический, емкостной и пьезоэлектрический.

В основу **индукционного метода** положено определение наведенного на электроде камеры заряда, возникающего при движении через камеру заряженных частиц. Величина заряда является мерой массовой концентрации частиц аэрозоля. Наибольшее распространение получил метод зарядки пылевых частиц коронным разрядом. При этом поток частиц сигнала пропускают через зарядную камеру, состоящую из цилиндра и расположенной по его оси коронирующей иглы или нити, а затем направляют в измерительную камеру, в которой и измеряется заряд, приобретенный частицами. Хотя приборы, построенные по этому принципу, могут иметь довольно простую конструкцию, однако им присущи и недостатки, связанные с особенностями работы с высоковольтной аппаратурой, а также по-

грешности, обусловленные неопределенностью значения величины заряда, приобретенного частицами аэрозоля в неоднородном электрическом поле.

**Контактно-электрический метод** основан на способности частиц аэрозоля электризоваться при соприкосновении с твердым телом. При этом основными элементами прибора являются электризатор, где происходит зарядка пылевых частиц, и токосъемный электрод, которому частицы передают свой заряд. В этом случае величина тока в цепи токосъемного электрода зависит от концентрации частиц. Очевидно, что величина заряда существенно зависит от физико-химического состава вещества пыли, а также влажности и температуры воздуха. Методу присущи также и неопределенности, обусловленные пробоотбором.

**Емкостной метод** основан на изменении емкости конденсатора при введении частиц аэрозоля между его пластинами. Параметры измерительного средства на его основе в существенной степени зависят от физических свойств частиц аэрозоля — их проводимости и диэлектрической проницаемости. Поэтому пользоваться этим методом целесообразно при неизменных физических параметрах частиц аэрозоля с предварительной калибровкой прибора на его основе.

**Пьезоэлектрический метод** измерения концентрации частиц аэрозоля основан на возникновении электрических импульсов на электродах пьезокристалла при соударении частиц аэрозоля с кристаллом, причем амплитуда электрических импульсов будет зависеть от массы частицы, ее размеров и скорости соударения с пьезокристаллом. Поэтому приборы, построенные по такому методу, должны обладать системой пробоотбора со всеми присущими ей недостатками, или пьезоэлемент должен помещаться в движущийся с известной скоростью аэрозоль.

Приборы, используемые для контроля микробного загрязнения воздуха, можно разделить на два основных типа: первый, связанный с предварительным отбором проб и последующим их анализом с использованием современных биофизических методов индикации белковых субстратов [21], и второй, основанный на явлении флюоресценции белков в поле возбуждающего ультрафиолетового (УФ) излучения.

Первый тип приборов для контроля микробиологического загрязнения воздуха основан на инерционном, седиментационном методах и методе фильтрации.

**Метод инерционного осаждения** и метод осаждения под действием центробежных сил используются в пробоотборниках-импакторах. Эти методы основаны на осаждении частиц — носителей микроорганиз-

мов на поверхность питательной среды. Затем подложку с питательной средой инкубируют в течение заданного времени. Для роста колоний бактерий ее выдерживают при температуре от 30 до 35 °С обычно в течение 48 ч. Дополнительная инкубация в течение 72 ч при температуре от 20 до 25 °С обеспечивает рост грибков. Инерционный метод основан на осаждении частиц микробного аэрозоля из воздушного потока на поверхность питательного агара с последующим инкубированием (проращиванием) осевших микроорганизмов в термостате. Через определенное время микроскопические частицы аэрозоля дают на поверхности агара видимые глазом колонии микроорганизмов (колониеобразующие единицы — КОЕ), число которых можно подсчитать под микроскопом визуально или с помощью современной видеотехники.

Несмотря на разнообразие конструкций, во всех приборах-пробоотборниках инерционного типа частицы аэрозоля при набегании на препятствие (поверхность агара или жидкости) в силу инерции не огибают препятствие, а продолжают прямолинейное движение до столкновения с препятствием (импакция). Приборы, действующие по принципу инерционного осаждения на твердые поверхности — импакторы, бывают щелевыми, с ситовыми решетками, центрифужного типа (ротационные). В первых аэрозоль входит в щель и далее попадает на вращающуюся чашку Петри с агаром (отечественный прибор: модель 818 — прибор Кротова, зарубежный BIAP SLITSAMPLER — Швеция). Во вторых аэрозоль проходит через решетку с калиброванными отверстиями, диаметр которых рассчитан на инерционное осаждение частиц массой больше заданной. Обычно это частицы размером более 5 мкм. В каскадных импакторах используют несколько ступеней (каскадов) с последовательным увеличением скорости прохождения аэрозоля через отверстия с меньшим, чем в предыдущей ступени, диаметром. Таким путем удается осаждать аэрозольные частицы размером от 5 до 10 мкм и получить распределение частиц аэрозоля по фракциям (импактор Андерсена, импактор Мея и др.) В ротационных импакторах осаждение аэрозольных частиц происходит за счет центробежной силы также на поверхность агара.

Импакторы позволяют определять число аэрозольных частиц, содержащих то или иное количество микроорганизмов, находящихся в пробе воздуха определенного объема.

В импинжерах осаждение аэрозольных частиц, содержащих микроорганизмы, происходит в жидкости (обычно это физиологический раствор — 0,9 %-ный раствор NaCl в дистиллированной воде). В жидкости частицы деагрегатируются, в итоге получается микробная

суспензия. Последующий посев суспензии на чашки Петри и инкубирование в термостате также дает рост колоний, однако здесь каждая колония формируется из одной микробной клетки, а не из агрегированных клеток, как это происходит в импакторах. Таким образом, импинжер дает представление о количестве микробных клеток в отобранной пробе воздуха (или в единичном объеме). Отметим, что в импинжерах происходит значительная гибель клеток при контакте с физиологическим раствором.

При выборе того или иного пробоотборника нужно принимать в расчет величину (объем) отбираемой пробы, которая должна быть достаточно представительной для надежной оценки микробной контаминации воздуха, в особенности в помещениях высокого класса чистоты. Важное значение имеют диапазон размеров частиц, отбираемых пробоотборником, а также его чувствительность. Под чувствительностью понимается минимальное количество микробных частиц (КОЕ), определяемых в расчете на единицу объема пробы. Большая чувствительность пробоотборника нужна при оценке стерильности воздуха.

В табл. 5.2 приведены характеристики приборов-пробоотборников инерционного типа, применяемых для оценки микробного загрязнения воздуха.

Таблица 5.2

**Характеристики импакторов**

| Тип пробоотборника | Наименование прибора, страна | Чувствительность, КОЕ/м³ | Объем пробы, м³ | Скорость отбора, л/мин | Диаметр частиц, осаждаемых с 50 %-ной эффективностью |
|---|---|---|---|---|---|
| Щелевой | Прибор Кротова (мод. 818) — Россия | 50 | 0,8 | 40 | Нет данных |
| | BIAP MBT — Швеция | 1700 | 1,2 | 60 | Нет данных |
| Ситовой | Standard RCS — ФРГ | 4 | 0,02—0,32 | 40 | Нет данных |
| | MAC-100 — Швейцария | — | 0,01—1,0 | 100 | Нет данных |
| | SAS — США | 0,10 | 0,90 | 180 | 2,0 |
| | RCS Plus — ФРГ | 1 | 0,001—1,0 | 50 | Нет данных |
| | ПУ-1Б, АО «Химко» — Россия | 50 | 0,10—0,25 | 200 | 1,4 |

Среди современных приборов следует отметить портативные пробоотборники ротационного типа RCS Plus и Standard RCS, чувствительностью не менее 1 и 4 КОЕ /м$^3$, способные отбирать пробу объемом до 1000 л. Особенностью этих пробоотборников является применение ленточных кассет с агаром вместо чашек Петри. Эти кассеты (Agar Strip) содержат стандартную питательную среду в двойной стерилизованной упаковке, производятся в заводских условиях в готовом для использования виде, удобны для хранения и транспортирования. Из отечественных приборов следует отметить компактный прибор с автономным электроснабжением ПУ-1Б.

Приборы с предварительным отбором проб называют пробоотборниками «объемного анализа», а способ отбора проб называют «активным пробоотбором», подчеркивая, что отбирается проба воздуха заданного объема, в отличие от отбора пробы на пластины, где микроорганизмы осаждаются на поверхность питательной среды под действием гравитации.

**Седиментационный метод** заключается в определении микробных частиц, оседающих на поверхность чашек Петри с агаром. Этот метод не дает количественной характеристики обсемененности воздуха и служит лишь дополнением к другим методам пробоотбора, так как на чашки Петри оседают лишь частицы большого размера, в то время как мелкие частицы продолжают витать в воздухе и не идентифицируются. Косвенно этот метод характеризует загрязнение поверхностей.

**Метод фильтрации.** Имеются два типа фильтров для отбора проб. Первый — «абсолютный», отверстия в котором имеют калиброванный размер (например, пористые трековые мембраны и фильтры из полимерных материалов, отверстия в которых создаются их бомбардировкой частицами атомов с помощью ускорителей). Такой фильтр задерживает все частицы, размер которых больше размера отверстий. Дальнейшая оценка микробной загрязненности может проводиться путем микроскопирования или методом отпечатков на питательную среду. Второй тип фильтров — объемный, представляющий собой тонковолокнистую структуру со случайным распределением волокон. Фильтры такого типа часто изготовляют из водорастворимых материалов, например желатина. В этом случае при последующем посеве пробы на твердую питательную среду получают оценку числа клеток, а не частиц, содержащих несколько клеток. Метод фильтрации обычно сопровождается повышенной (по сравнению с методами импакции на поверхность агара) гибелью клеток при осаждении на поверхность фильтра.

В известных работах по биологическому контролю загрязнений воздуха используется так называемый проточный оптико-люминесцент-

ный метод определения биоагентов. Работы по нему ведутся, начиная с 1995 г. [31, 32, 35]. При этом были исследованы некоторые виды биоаэрозолей и разработан метод их индикации по сигналам флюоресценции индивидуальных белковых частиц аэрозолей при возбуждении их УФ-излучением (4-я гармоника лазера на алюмо-иттриевом гранате с длиной волны излучения $\lambda = 266$ нм). В работе [36] были исследованы спектры флюоресценции биологических объектов и показано, что основная доля их интенсивности лежит в области 300—400 нм. В работе [22] описан лазерный проточный анализатор аэрозолей, позволяющий осуществить возбуждение индивидуальных частиц аэрозоля с помощью лазера на длине волны $\lambda = 266$ нм и регистрацию сигналов флюоресценции в области 330—388 нм. Этот прибор предназначен для оценки концентрации микробной заселенности в приземном слое атмосферы и почве.

При всех достоинствах проточных счетных устройств анализа биоаэрозолей, таких как высокая чувствительность, относительная простота реализации, им присущи следующие существенные недостатки:

ограничение по верхнему пределу измерений счетной и массовой концентраций аэрозолей;

неизокинетический отбор проб, связанный с необходимостью прокачки проб аэрозоля через счетный объем прибора, что вносит искажения в определение дисперсного состава аэрозоля в области больших размеров;

разрушающее действие вязкостных сил, приложенных к индивидуальной частице со стороны среды при изменении вектора скорости. Эти силы могут существенно превышать прочность материала (например, в случае жидкой частицы — силы поверхностного натяжения), вследствие чего происходит дробление частицы на срезе инжекторного сопла и, как следствие, искажение дисперсного состава (резкое увеличение спектра в области малых размеров за счет дробления крупных фракций аэрозоля). Это явление известно достаточно давно и отмечено для импакторов еще в работе [27];

на основе проточного оптико-люминесцентного метода практически невозможно создание функционально единого по структуре прибора, анализирующего одновременно концентрации биоагента в аэрозоле и суспензии.

Вышеперечисленными методами не ограничивается возможность измерения параметров аэрозолей — в настоящее время их насчитывается более 50.

В табл. 5.3 приведены примеры приборов, прошедших испытания с целью утверждения типа и внесенных в Государственный реестр средств измерений.

Таблица 5.3

**Приборы, внесенные в Государственный реестр средств измерений**

| Наименование СИ | Тип СИ | Применение | Изготовитель |
|---|---|---|---|
| Счетчик аэрозольных частиц | АЗ-5 ОШМ 2.845.00 ТУ | Для измерения концентраций аэрозолей | ПО «Омский электромеханический завод», Омск |
| Анализаторы дисперсного состава суспензий микропроцессорные | ФС-180 ТУ 25—7416 (1Е2-850.263)—87 | Для определения количества частиц, взвешенных в суспензиях и дисперсного состава суспензий | Завод «Тбилприбор» НПО «Аналитприбор», Грузия |
| Анализаторы дисперсного состава | ФС-104, ФС-104.1 ТУ 25-7416 (1Е2-860.255)—87 | Для исследований дисперсного состава суспензий в научно-исследовательских и производственных лабораториях | Завод «Тбилприбор» НПО «Аналитприбор», Грузия |
| Анализаторы дисперсности порошков | АДП | Для измерения удельной поверхности порошков в производстве наполнителей, порошков | Экспериментальное предприятие НПО «Полимерстройматериалы», п. Тучково |
| Измерители дымности отработавших газов компактные | КИД-2 М.004.00.00. 00.00 ТУ | Для контроля дымности газов дизельных двигателей | ЗАО НПО «Мета», Жигулевск |
| Приборы для проверки качества магнитных порошков и суспензий | МФ-10СП ТУ 25-7759 (Иа 2.758. 009)—88 | Для определения условной чувствительности магнитных порошков и суспензий | МНПО «Спектр», Москва |
| Анализаторы дисперсного состава суспензий | ФС-115 ТУ 25-7416 (1Е2.850. 274)—89 | Для проведения измерений дисперсного состава гомогенизированных продуктов детского питания в лабораториях предприятий Госагропрома | Завод «Тбилприбор» НПО «Аналитприбор», Грузия |

*Продолжение табл. 5.3*

| Наименование СИ | Тип СИ | Применение | Изготовитель |
|---|---|---|---|
| Анализаторы дисперсного состава и влажности нефти лабораторные | АВС-Л ТУ 39 | Для измерения влажности проб нефти с объектов ее подготовки и сдачи | НПО «Нефтехимавтоматика», Бугульма |
| Дымомеры портативные | Мета-01 М.005.00. 00.00.00 ТУ | Для измерения дымности отработавших газов автотранспортных средств с дизельными двигателями, при их контроле и регулировке | ЗАО НПО «Мета» Жигулевск |
| Счетчики аэрозольных частиц | ПК.ГТА-0,3-002 ОШМ2-603.00 ЭТУ | Для контроля запыленности воздуха при производстве полупроводниковых приборов и микросхем | Завод «Радиоприбор» концерн «Ленинец», С.- Петербург, Приборостроительный завод, Выборг |
| Анализаторы дисперсного состава | АОД ТУ 25-7416 (1Е2.850. 293)—90 | Для определения дисперсного состава частиц, взвешенных в различных жидкостях. Применяются в народном хозяйстве | Завод «Тбилприбор» НПО «Аналитприбор», Грузия |
| Дымомеры переносные | СМОГ-1 ИБЯЛ. 413314.001 ТУ-93 | Для инспекционного контроля дымности отработавших газов дизельных двигателей автомобилей с целью оценки качества работы их системы выпуска, питания топливом и смазки. Диапазоны измерений: по шкале показателя ослабления светового потока от 0 до 10 $м^{-1}$, по шкале затемнения от 0 до 100 %. | ПО «Аналитприбор», Смоленск |

*Продолжение табл. 5.3*

| Наименование СИ | Тип СИ | Применение | Изготовитель |
|---|---|---|---|
| Измерители дымности отработавших газов | МЕТА-01 МП М006. 00.00.00.00 ТУ | Для измерения дымности отработавших газов автомобильных, тракторных и тепловозных дизельных двигателей, а также других видов оборудования, оснащенного дизельными двигателями, при выпуске, эксплуатации и после ремонта. Диапазон измерений: в единицах коэффициента поглощения, $м^{-1}$, от 0 до 9,95, в единицах непрозрачности, %, от 0 до 100 | СП «ФАЛКО», Москва, АО «ИНКРАМ», Москва |
| Приборы для определения дисперсного состава порошков | ЭИП-11Т ТУ 4215—11013320—84 | Для измерения дисперсного состава тонкоизмельченных порошкообразных материалов в диапазоне размеров частиц от 0,5 до объемной (массовой) доли каждой фракции от 0 до 100 % | НПТ «Инвест-Ценаприс Лтд.», Тольятти |
| Анализаторы частиц | Микросайзер С201.001 ТУ | Для измерения распределения частиц по размерам в суспензиях. Диапазон измерения весовых долей частиц от 0 до 100 % | Фирма VA Instruments, С.-Петербург |
| Ареометры для грунта | АГ ТУ25-11. 1122—75 | Для определения гранулометрического состава грунтов | АО «Химлаборприбор», Клин |
| Малоугловой измеритель дисперсности | МИД-5 | Для измерения значений функции распределения частиц по размерам в аэрозолях, суспензиях и порошкообразных материалах | АОЗТ «Мера-6Т», п. Менделеево, Московская обл. |
| Аспиратор пылепробоотборник | ПП-2 | Для измерений объема прокаченного воздуха и отбора аэрозольной пробы на фильтр | ИПКОН РАН, Москва |

*Окончание табл. 5.3*

| Наименование СИ | Тип СИ | Применение | Изготовитель |
|---|---|---|---|
| Измеритель концентрации аэрозолей радиоизотопный | ИКАР-ФБ-01 | Для определения массовой концентрации пыли в воздухе рабочей зоны при гигиенической оценке условий труда в соответствии с МУ 4436—87 | ИПКОН РАН, Москва |
| Измеритель запыленности автоматический | ИЗ-2 | Для измерения значений функции распределения частиц по размерам, объемной (массовой) и счетной концентрации | АОЗТ «Мера-6Т» п. Менделеево, Московская обл. |
| Измеритель массовой концентрации пыли | ТМ-ДАТА | Для определения массовой концентрации пыли в воздухе рабочей зоны угольных шахт | Helmut HUND, Германия |
| Анализатор пыли | SM-200 | Для определения массовой концентрации пыли в воздухе рабочей зоны | OPSIS, Швеция |
| Счетчик аэрозольных частиц | Монитор-93Б | Для измерения счетной концентрации аэрозолей и мониторинга чистых помещений классов Р5—Р8 по ГОСТ Р 50766—95 | ФГУП «ВНИИФТРИ», п. Менделеево, Московская обл. |

В развитых промышленных странах серийно выпускаются десятки типов приборов, измеряющих дисперсные характеристики аэрозолей. В России, к сожалению, несмотря на огромное число разработок, измерительные средства промышленно выпускаются или устаревшими, или мелкосерийно. Современные тенденции развития средств измерений параметров аэрозолей требуют создания дешевых, портативных, многофункциональных приборов, позволяющих измерять как дисперсные характеристики (функцию распределения частиц по размерам), так и счетную, объемную, массовую концентрацию частиц аэрозоля. Современная элементная база (микроконтроллеры, микросхемы типа rail-to-rail) позволяет сделать эти измерительные средства автономными, что может существенно расширить область применения таких измерительных средств [17, 13]. Акту-

альным остается и улучшение метрологических характеристик средств измерений, что требует единого подхода к проведению поверки и калибровки средств измерений — операции поверки и калибровки должны проводиться с помощью объектов, по возможности, максимально приближенных к измеряемым по дисперсному составу, концентрации, физико-химическим свойствам.

## 5.5. Метрологическое обеспечение измерений параметров аэрозолей

Метрологическое обеспечение средств измерений параметров аэрозолей в настоящее время осуществляется по локальным поверочным схемам и по МИ 2507—98; зарубежные приборы или калибруются и поверяются в поверочных лабораториях России по самым различным методикам, или калибруются фирмами-изготовителями.

Попытка решения задачи метрологического обеспечения измерений дисперсных параметров аэрозолей была предпринята в начале 90-х г.г. [17] и закончилась в 1997 г. разработкой во ВНИИФТРИ комплекса средств измерений счетной концентрации частиц в аэрозолях и суспензиях и единицы среднего размера частиц в аэрозолях, суспензиях и порошкообразных материалах, который был утвержден в качестве установки высшей точности УВТ 91-А-97 [24, 20]. Дальнейшее развитие этих работ с 1998 по 2002 г. привело к созданию комплекса аппаратуры Государственного эталона единиц размера частиц, счетной и объемной (массовой) концентраций, значений функции распределения частиц по размерам в аэрозолях, взвесях и порошкообразных материалах с использованием части аппаратуры УВТ 91-А-97 и опыта ее эксплуатации.

В состав эталонного комплекса входят:

эталонный видеоизмеритель дисперсных параметров порошков и суспензий;

эталонный универсальный измеритель дисперсных параметров аэрозолей, суспензий и порошкообразных материалов типа МИД-5;

эталонный счетчик частиц аэрозолей;

набор порошкообразных материалов с известной плотностью.

Характеристики эталона определены для наиболее часто употребляемой сферической модели частиц аэрозоля, взвеси или порошкообразного материала, при этом под размером частицы понимается ее проекционный диаметр

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot n \cdot d_0^2}{\pi}}, \qquad (5.7)$$

где $S = n \cdot d_0^2$ — площадь частицы, $n$ — количество пикселей в изображении частицы, $d_0$ — линейный размер пикселя.

В основу метода определения размера частиц положен метод эталонного измерителя. На эталонном видеоизмерителе, состоящем из микроскопа, сочлененного с видеокамерой, и компьютера, производится измерение проекционного диаметра и значений функции распределения по размерам частиц суспензий и порошков. На эталонном универсальном измерителе дисперсных параметров производится измерение размера частиц и значений функции распределения по размерам частиц аэрозолей, суспензий и порошкообразных материалов. На эталонном счетчике частиц производится измерение параметров аэрозолей. Так, с помощью эталонного универсального измерителя дисперсных параметров аэрозолей, суспензий и порошкообразных материалов по закону Буге-Бэра определяется счетная концентрация частиц $N$ по формуле

$$N = \frac{2 \cdot \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)}{\pi \cdot d^2 \cdot L}, \tag{5.8}$$

где $I_0$ — интенсивность зондирующего излучения, $I$ — интенсивность излучения, прошедшего рассеивающую среду, $d$ — средний диаметр частиц рассеивающей среды, $L$ — длина рассеивающего объема.

Объемная концентрация $M$ определяется по формуле

$$M = \frac{2 \cdot \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \cdot d}{\pi \cdot L} \tag{5.9}$$

Массовая концентрация частиц определяется по формуле

$$m = \rho \cdot M, \tag{5.10}$$

при известной плотности вещества частиц аэрозоля $\rho$.

При измерении счетной, объемной и массовой концентрации частиц аэрозоля в диапазоне счетных концентраций $10^5$—$10^7$ м$^{-3}$ применяется эталонный счетчик частиц аэрозолей, при этом счетная концентрация частиц измеряется путем их подсчета за фиксированный интервал времени при известном расходе аэрозоля, проходящего через счетчик. Объемная и массовая концентрации определяются по формулам:

$$M = N \cdot \bar{d}^3 \tag{5.11}$$

$$m = \rho \cdot M.$$

В качестве стандартных частиц аэрозоля или взвеси используется набор порошкообразных материалов с известной плотностью, состоящий из порошков растительного [споры гриба-дождевика (lycoperdon perlatum), ликоподия (licopodium)], природного (каолин, трепел) и искусственного (латексы различных размеров) происхождения, которые служат для передачи размера единицы проекционного диаметра рабочим эталонам и позволяют непосредственно измерять массовую концентрацию частиц.

Эталонный комплекс аппаратуры позволяет определять значения размера частиц, счетной и объемной (массовой) концентраций, значений функции распределения частиц по размерам в аэрозолях, взвесях и порошкообразных материалах в диапазонах:

а) измеряемых размеров частиц — 0,5...1000 мкм;

б) счетной концентрации — $10^5...10^{12}$ м$^{-3}$;

в) объемной концентрации — (0,5...5000) мм$^3$/м$^3$;

г) измерения значений функции распределения частиц по размерам — 0,5...1000 мкм;

с неисключенными частями систематической погрешности измерения:

проекционного диаметра $S_d = \pm 1$ %;

счетной концентрации $S_N = \pm 2{,}1$ %;

объемной концентрации $S_N = \pm 1{,}2$ %;

массовой концентрации $S_m = \pm 2$ %;

значений функции распределения частиц по размерам $S_f = 1$ %.

Средние квадратические отклонения результатов измерений находятся в пределах:

для размера частиц $\sigma_d = \pm$ (1,1...0,11) % для частиц диаметром 1...100 мкм;

счетной концентрации $\sigma_N = \pm 0{,}5$ %;

объемной концентрации $\sigma_M = \pm 0{,}5$ %;

массовой концентрации $\sigma_m = \pm 1{,}3$ %;

значений функции распределения частиц по размерам $\sigma_d = \pm$ (1,2...0,51) % для частиц диаметром 1—100 мкм при условии, что в каждом из диапазонов измеряется не менее 400 частиц.

Разработанная государственная поверочная схема предусматривает передачу размеров единиц к рабочим средствам измерений через рабочие эталоны.

Аппаратура эталона обеспечивает единство измерений размера частиц, счетной и объемной (массовой) концентраций, значений функции распределения частиц по размерам в аэрозолях, взвесях и

порошкообразных материалах при разработке и эксплуатации средств измерений дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов в России.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛ. 5


1. ГОСТ 12.0.003—74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

2. ГОСТ 12.1.005—88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

3. ГОСТ 12.1.016—79. ССБТ. Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерений концентрации вредных веществ.

4. ГОСТ 17.2.4.05—83. Охрана природы. Атмосфера. Гравиметрический метод определения взвешенных частиц пыли.

5. ИСО 10312:1993. Воздух атмосферный. Определение асбестовых волокон. Метод прямого наблюдения электронной микроскопией.

6. ИСО 9855:1993. Воздух атмосферный. Определение содержания микрочастиц свинца в аэрозолях, скапливающихся на фильтрах. Метод абсорбционной спектроскопии.

7. ИСО 7708:1995. Качество воздуха. Определение фракционного состава частиц при отборе проб для оценки санитарно-гигиенического состояния.

8. ГН 2.2.5.563—96. Предельно допустимые уровни (ПДУ) загрязнения кожных покровов вредными веществами.

9. ГН 2.2.5.686—98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

10. ГН 2.2.6.709—98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроорганизмов-продуцентов, бактериальных препаратов и их компонентов в воздухе рабочей зоны.

11. МУ 4436—87. Измерение концентрации аэрозолей преимущественно фиброгенного действия.

12. МУК 4.2.734—99. Микробиологический мониторинг производственной среды.

13. МИ 2507—98. ГСОИЕ. Государственная проверочная схема для средств измерений параметров дисперсных сред.

14. Р 2.2.755—99. Гигиена труда. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.

15. СанПиН 2.2.3.570—96. Гигиенические требования к предприятиям угольной промышленности и организации работ.

16. СанПиН 2.2.4.548—96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

17. Балаханов М.В. О системе метрологического обеспечения измерений дисперсных параметров аэрозолей. // Сб. науч. тр. ВНИИФТРИ «Методы и средства измерений параметров дисперсных сред». — М., 1991. — С. 6—16.

18. Борисова Е.В. и др. Универсальный малогабаритный прибор для измерения размеров частиц аэровзвесей. // Сб. науч. тр. ВНИИФТРИ «Методы и средства измерений параметров дисперсных сред». — М., 1991. — С. 72—82.

19. Грин Х, Лейн В. Аэрозоли — пыли, дымы и туманы / Пер. с англ., под ред. Н.А. Фукса. — Л.: Изд-во «Химия», 1969. — 427 с.

20. «Государственный Научный Центр Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений» // Измерительная техника. — 1996. — № 2. — С. 69.

21. Калинин Ю.Т., Злобин В.Н., Храмов Е.Н., Осин Н.С. Проблемы биологической безопасности на пороге XXI века // Вестник Российской Академии медицинских наук. — 1999. — № 8. — С. 3—8.

22. Калинин Ю.Т., Воробьев Е.Н., Храмов Е.А. и др. Применение лазерного проточно-флюоресцентного счетчика частиц аэрозолей для оценки счетной и массовой концентрации микроорганизмов в приземном слое воздуха в условиях высокой запыленности // Вестник Российской Академии медицинских наук. — 1999. — № 8. — С. 16—19.

23. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. М.: Изд-во «Химия», 1978. — 207 с.

24. Лесников Е.В., Карпов О.В., Петров Г.Д. Установка высшей точности для воспроизведения единиц счетной концентрации и размеров частиц в аэрозолях и суспензиях и единицы размера частиц в порошкообразных материалах // Измерительная техника. — 1997. — № 9. — С. 68—70.

25. Беляев С. П., Никифорова Н. К., Смирнов В. В., Щелчков Г. И. Оптико-электронные методы изучения аэрозолей. — М.: Энергоиздат, 1981. — 232 с.

26. Пашков Е.В., Фомин Г.С., Красный Д.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. — М. ИПК Изд-во стандартов, 1997. — 463 с.

27. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. — М.: Изд-во АН СССР, 1955.

28. Шифрин К.С., Колмаков И.Б. Вычисление спектра размеров частиц по текущим и интегральным значениям индикатрисы в области малых углов // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. — Т. 3. — № 12. — 1967. — С. 1271—1279.

29. ACGIH 1992/1993: Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Hrsg.: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati/Ohio, 1992.

30. Environmental Protection Agency Regulations on Ambient Air Monitoring Reference and Equivalent Methods/part 53, Bureau of National Affairs, ins. Washington, D.C. 20037, S — 791, 121: 1341—1375. — P. 35 — 69.

31. Chen G., Nachman P., Pinnick R.G. et al.// Opt. Lett. — 1996. — Vol.21. — Iss.16., — P. 1307—1309.

32. Chen G., Nachman P., Pinnick R.G. et al.// Appl. Opt. — 1996. — Vol.35. — Iss.7., — P. 1069—1076.

33. DIN/EN 481: Arbeitsplatzatmosphare: Festlegung der Teilchengrössenverteilung zur Messung luftgetragener Partikeln (September 1993).

34. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte 1993. Mitteilung 29 der Senatskommission zur Pruefung gesundheitsschadlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Weinheim: Verlag Chemie.

35. Pinnick R.G., Hill S.C., Nachman P., et al. // Aerosol Sci. and Technol. — 1995. — Vol.23, — Iss.4., — P. 653-664.

36. Pinnick R.G., Hill S.C., Nachman P., et al. // Aerosol Sci. and Technol. — 1998. — Vol.28. — Iss.2., — P. 95—104.

37. Siekmann H., Blome H. Auswirkungen der Europaischen Norm EN 481 auf die Probenahme von Partikeln in der Luft in Arbeitsbereit. Staub-Reinhaltung der Luft, 54 (1994) 95—97.

38. Sutton O. Micrometeorology. — New York, 1953.

39. Technische Regeln fur Gefahrstoffe: Grenzwerte (TRGS 900). Koln: Carl Heymanns Verlag (Februar, 1993).

40. VDI 2265: Feststellen der Staubsituation am Arbeitsplatz zur gewerbehygienischen Beurteilung (Oktober 1980).

41. 88/642/EWG: Richtlinie des Rates vom 16. Dezember 1988 zur Anderung der Richtlinie 8o/1107/EWG zum Schutz der Arbeitnehmer vor der Gefahrdung durch chemische, physikalische und biologische Arbeitsstoffe. Amtsblatt der Europaischen Gemeinschaften Nr. L. 356/74.

# Глава 6. АЭРОИОНИЗАЦИЯ

С.В. Колерский, М.В. Балаханов

Аэроионизация (ионизация воздуха) является одним из важных факторов воздействия окружающей среды на людей, на состояние их здоровья как в условиях открытой атмосферы, так и при нахождении человека в замкнутых помещениях. Воздух является наиболее активной компонентой взаимодействия организма человека с окружающей средой через механизм газового обмена. Вместе с газовым обменом происходит обмен электрическими зарядами, которые переносятся ионами газов, заряженными молекулами или аэрозольными частицами.

Параметры ионизации воздуха характеризируют его качество, они должны контролироваться и на рабочих местах удовлетворять требованиям санитарно-гигиенических норм [4,5]. В соответствии с классификацией опасных и вредных производственных факторов повышенная или пониженная ионизация воздуха относятся к группе физических факторов [2]. Несмотря на относительно низкие (по сравнению с общим числом молекул газа) концентрации аэроионов, аэроионный состав окружающего воздуха является важной его физико-химической составляющей и существенным электрохимическим фактором, влияющим на человека и способным нарушить или поддержать динамическое равновесие в процессе взаимодействия организма с окружающей средой.

## 6.1. Характеристики аэроионов и их параметры

Ионизация воздуха — процесс превращения нейтральных атомов и молекул газов и других компонентов воздушной среды в ионы — электрически заряженные частицы, несущие положительный или отрицательный заряд. Ионы в воздухе могут образовываться вследствие как естественной, так и искусственной ионизации. Естественная ионизация происходит повсеместно в результате постоянного воздействия различного вида излучения (космического, ультрафиолетового, ионизирующего) и атмосферного электричества. Искусственная ионизация воздуха создается в результате деятельности человека и является либо нежелательной, как продукт тех или иных технологических

процессов, либо целенаправленно создаваемой, например, при помощи аэроионизаторов для компенсации аэроионной недостаточности или для лечебных целей. Очевидно, что для реализации этой цели требуются соответствующие средства измерений и контроля параметров ионизации. Физическими характеристиками ионов являются их электрическая подвижность и заряд (положительной или отрицательной полярности).

Подвижность иона — это отношение средней скорости его дрейфа в направлении электрического поля к напряженности последнего. Подвижность обычно выражается в $см^2/(с \cdot В)$. По значениям подвижности ионы воздуха делятся условно на два диапазона: легкие ионы и остальные ионы, характеризующиеся меньшей подвижностью.

Легкие ионы — это ионы, у которых носителями заряда являются атомы, молекулы и комплексы молекул (т.е. собственно аэроионы). Граница подвижностей, отделяющая диапазон легких ионов от остальных, по данным разных авторов, составляет $(0,5 \pm 0,3)$ $см^2/(с \cdot В)$ [14, 17].

К остальным ионам относятся: средние, тяжелые, ионы Ланжевена и ультратяжелые (иногда в литературе они называются «псевдоаэроионами», т.к. у них носителями заряда являются высокодисперсные аэрозольные частицы, в том числе и микроорганизмы).

Средние, тяжелые и ионы Ланжевена имеют границы диапазонов подвижности, соответственно: 0,5—0,01, 0,01—0,001, 0,001—0,0002 $см^2/(с \cdot В)$, а подвижность ультратяжелых аэроионов — менее 0,0002 $см^2/(с \cdot В)$.

Очевидно, что наряду с возникновением аэроионов происходит их непрерывное исчезновение — деионизация воздуха. Факторами, определяющими деионизацию, являются:

рекомбинация легких аэроионов разных полярностей;

взаимодействие их с аэрозольными частицами и с различными предметами (в помещении);

осаждение и рекомбинация на различных фильтрах и в системах очистки воздуха.

В зависимости от соотношения скоростей процессов ионизации и деионизации устанавливается определенное квазиравновесное состояние ионизованности воздушной среды. Основной величиной, характеризующей ионизованность воздуха, является полярная объемная плотность электрического заряда (ПОПЭЗ), равная количеству электрического заряда ионов положительной или отрицательной полярности в единице объема воздуха. ПОПЭЗ в Международной системе единиц (СИ) выражается в единицах $Кл/м^3$. 1 $Кл/м^3$ — это очень большая величина. На практике удобнее использовать дольную

единицу 1 пКл/м$^3$ = $10^{-12}$ Кл/м$^3$. Ранее для измерений ПОПЭЗ традиционно использовалась внесистемная единица измерения: 1 элементарный заряд, содержащийся в 1 см$^3$ воздуха: 1 эл. зар. / см$^3$ = = 0,16 пКл/м$^3$.

Для легких ионов ПОПЭЗ, выраженная в единицах эл. зар./см$^3$, численно совпадает с их счетной концентрацией (числом ионов в единице объема, выражаемой в см$^{-3}$). Для других ионов это не соблюдается, так как заряд иона может быть более 1 эл. зар.

Нормируемыми параметрами ионизованности воздуха являются:

$\rho$ — концентрация легких ионов (количество в 1 см$^3$ воздуха) и

$П$ — показатель полярности, равный отношению разности концентраций положительных $\rho^+$ и отрицательных $\rho^-$ легких ионов к их сумме. Показатель полярности может изменяться от минус 1 до плюс 1. При равенстве количества положительных и отрицательных ионов показатель полярности равен нулю. Часто удобнее вместо показателя полярности применять коэффициент униполярности — $У$, равный отношению концентрации положительных аэроионов к концентрации аэроионов противоположной полярности [5].

## 6.2. Воздействие аэроионов на человека

Влияние аэроионов на человека многосторонне, оно зависит от полярности аэроионов, например, при недостаточной и избыточной концентрациях аэроионов оно может быть неблагоприятным, а при оптимальных концентрациях ионов отрицательной полярности — стимулирующим. Зонами, воспринимающими аэроионы в организме, являются органы дыхания и кожа.

Основными механизмами ответных реакций организма на воздействие аэроионов являются *нервно-рефлекторный, электрогуморальный, адаптационный* и *катализирующий.*

Все эти механизмы запускаются воздействием зарядов и перераспределением электронов между атомами, молекулами и клетками организма с поглощением или выделением энергии связи, с образованием новых молекулярных соединений, при этом регулятором протекающих в организме процессов являются нервная и иммунная системы и мозг.

*Нервно-рефлекторный* механизм проявляется в воздействии аэроионов на нервные центры, изменении их функционального состояния и далее через них — воздействии на весь организм. Первичным звеном воздействия аэроионов через органы дыхания является мембрана рецепторов рефлексогенной зоны верхних дыхательных путей.

*Электрогуморальный* механизм, т.е. обмен электрическими зарядами под влиянием аэроионов через органы дыхания, происходит в следующей последовательности: *аэроионы воздуха — альвеолы легких — венозная кровь — артериальная кровь — ткани — венозная кровь — ионы выдыхаемого воздуха,* т.е. этот обмен идет в двух направлениях. При вдыхании происходит легочный электрообмен — перенос заряда через альвеолы легких от вдыхаемого воздуха к венозной крови и тканевый обмен через стенки капилляров между артериальной кровью и клетками органов, в том числе мозга [15].

Электрообмен, обусловленный воздействием аэроионов, изменяет заряд коллоидов клеток, например, взвешенных в крови эритроцитов, коллоидов мышечной ткани, нейронов центральной нервной системы, и изменяет потенциал коллоидной субстанции мозговых клеток. Это препятствует столкновению коллоидных частиц и их агрегации, обеспечивая стабильное состояние клеток и препятствуя их коагуляции с переходом из золя в гель. При старении происходит снижение заряда клеточных и кровяных коллоидов, увеличивается коагуляция, образуется более грубодисперсная малоионизированная белковая фракция, снижается обмен веществ и в итоге коллоидная суспензия может превратиться в гель, что приводит к летальному исходу.

Положительные аэроионы увеличивают содержание серотонина в слизистой оболочке дыхательных путей, крови и тканях за счет его выхода из тканевых депо. Отрицательные аэроионы снижают содержания серотонина в тканях, ускоряя его ферментативное расщепление. Широкий спектр действия серотонина, как биологически активного вещества, приводит к многостороннему воздействию ионизированного воздуха на организм [10, 18].

В мозговой ткани, в отличие от других тканей, содержание серотонина уменьшается при действии как положительных, так и отрицательных ионов в диапазоне концентраций $2 \cdot 10^3 — 5 \cdot 10^5$ см$^{-3}$ [10]. Этот эффект может быть одной из причин изменения в поведении и настроении людей при резком изменении ионизации воздуха.

Механизм действия аэроионов на организм человека связан с изменением метаболизма серотонина в мозгу [19]. Имеются данные о связи между электрической активностью обонятельных луковиц и переднего отдела гипоталамуса, что указывает на возможность влияния аэроионизации на вегетативные процессы в организме через ольфакторно-гипоталамические пути [16].

Подкрепление отрицательными аэроионами в умеренных дозах естественного отрицательного заряда биоколлоидов действует благоприятно на организм, катализируя в нем протекание всех электро-

химических, биохимических и других реакций. Отрицательные аэроионы, как биокатализаторы, активизируют биохимические процессы и окислительно-восстановительные реакции. Причем, для активизации этих процессов не нужно ионизировать все реагирующие молекулы, а нужно лишь запустить эти процессы [15].

Кроме того, аэроионизация, как один из элементов эволюционного экологического развития человека, влияет на защитно-приспособительные реакции (адаптационный механизм) организма.

При оптимальных концентрациях ионов воздух является адекватным раздражителем и способствует оптимизации проявления адаптационных реакций жизненно важных систем организма и достижению состояния повышенной его устойчивости, например, способствует корреляции пространственной синхронизации корковых биопотенциалов, что приводит к ускорению образования условных рефлексов [12].

Причиной формирования защитно-приспособительных реакций организма в условиях оптимальной аэроионизации является синхронизация биопотенциалов больших полушарий и корково-подкорковых взаимоотношений под действием аэроионов.

В противном случае, например, у людей, длительно работающих в условиях аэроионной недостаточности, постепенно развиваются нарушения функционирования дыхательной, сердечно-сосудистой и нервной систем, которые могут привести к срыву адаптации.

В результате совместного действия указанных механизмов влияние аэроионов на организм сказывается на ряде *вегетативных* (газовый, минеральный, водный обмен, регенерация тканей, функционирование эндокринных желез, ритм дыхания и сердечных биений, состав крови и др.) и *анимальных* (возбудимость нервной системы и мышечной ткани) функций отдельных органов и на жизнедеятельности всего организма (рост, моторика, половая функция). Причем длительное воздействие положительных и отрицательных аэроионов при высоких и низких дозах (концентрациях) приводит к неблагоприятным последствиям, а при оптимальных концентрациях — к стимулирующим эффектам.

## 6.3. Нормирование параметров аэроионов

В настоящее время нормированы параметры только легких ионов. Подход, применяемый к нормированию оптимальных концентраций легких ионов, основан на том, что для нормального функционирования организма необходимо обеспечить нужное количество заряда, которое человек получает при вдыхании за сутки в естественных условиях.

Профилактической и гигиенической считается концентрация легких ионов от $10^3$ до $10^4$ в $см^3$, соответствующая их содержанию в чистом воздухе. Аэроионизацию с такой концентрацией можно осуществлять круглосуточно во всех обитаемых помещениях. В естественных условиях в 1 $см^3$ содержится около $10^3$ легких ионов, и для взрослого человека за сутки при вдыхании достигают альвеол примерно $8 \cdot 10^9$ ионов. Это значение, принятое за биологическую единицу аэроионизации (*БЕ*), обеспечивает оптимальный электрообмен организма человека с воздушной средой. Для здоровых людей суточная доза должна соответствовать 2—3 *БЕ* [15].

Для профилактики и лечения ряда заболеваний применяется аэроионотерапия — дозированное воздействие на пациента аэроионов воздуха повышенной концентрации, как искусственной, так и естественной. Доза обычно составляет 20 *БЕ* за сеанс (при длительности сеанса 20 мин и концентрации легких ионов от $5 \cdot 10^5$ до $10^6$ $см^{-3}$).

При выдохе каждый человек выделяет «псевдоаэроионы», за сутки их количество составляет $\approx 3 \cdot 10^{12}$. Скапливаясь в закрытых помещениях, они отрицательно воздействуют на физиологические функции организма, ухудшают самочувствие и работоспособность [15]. При компенсации аэроионной недостаточности для нейтрализации «псевдоаэроионов» величина отрицательной аэроионизации должна быть значительной.

Постоянное нахождение человека в условиях низких и высоких уровней ионизованности воздуха приводит к неблагоприятным и патологическим последствиям.

С 15 июня 2003 г. введены в действие гигиенические требования СанПиН 2.2.4.1294—03 [5], в которых нормируемыми показателями аэроионного состава воздуха производственных и общественных помещений являются:

концентрации легких ионов (минимально допустимая и максимально допустимая) обеих полярностей, $\rho^+$ и $\rho^-$,

коэффициент униполярности $У$ (минимально допустимый и максимально допустимый).

Нормируемые значения концентраций аэроионов в СанПиН 2.2.4.1294—03 остались без изменений, а коэффициент униполярности, используемый вместо показателя полярности, ограничен интервалом значений от 0,4 до 1,0.

Значения нормируемых показателей (концентрации аэроионов и коэффициента униполярности) приведены в табл. 6.1.

Условия труда при значениях концентраций аэроионов, лежащих вне допустимых пределов, приведенных в Приложении 1 СанПиН 2.2.4.1294—03 [5], относятся к вредным (класс 3):

первой степени (3.1) — если концентрации равны или выше 200 $см^{-3}$, или менее 100000 $см^{-3}$, а коэффициент униполярности находится в интервале от 1,0 до 2,0;

второй степени (3.2) — если концентрация меньше 200 $см^{-3}$ или более 100000 $см^{-3}$, а коэффициент униполярности ≥ 2,0.

При этом в зонах дыхания пользователей видеотерминалов при соблюдении гигиенических требований к отрицательным аэроионам отсутствие аэроионов положительной полярности допускается и не является вредным условием труда [5].

Таблица 6.1

**Показатели ионизованности воздуха на рабочем месте**

| Нормируемые показатели | Концентрация аэроионов ρ, (ион/ $см^3$) | | Коэффициент униполярности |
|---|---|---|---|
| | Положительной полярности | Отрицательной полярности | |
| Минимально допустимые | $\rho^+ \geq 400$ | $\rho^- > 600$ | $0,4 \leq У \leq 1,0$ |
| Максимально допустимые | $\rho^+ < 50000$ | $\rho^- \leq 50000$ | |

Эти требования распространяются на производственные и общественные помещения, оснащенные принудительной приточно-вытяжной вентиляцией, кондиционерами, фильтрами и другими системами очистки воздуха, видеодисплейными терминалами, персональными компьютерами, ионизаторами, множительной и копировальной техникой, приборами и электрофизическими установками, имеющими источники ультрафиолетового и ионизирующего излучения, а также на гермозамкнутые объекты и помещения с покрытиями, например, на основе многих полимерных материалов, способными накапливать электростатический заряд.

Контроль аэроионного состава воздуха должен осуществляться при вводе в эксплуатацию рабочих мест в перечисленных выше помещениях, в порядке планового контроля (не реже одного раза в год), при аттестации рабочих мест и при вводе в эксплуатацию аэроионизирующего оборудования.

Для условий совместного воздействия аэроионов и сильных электростатических полей (ЭСП) оценка влияния на человека ведется по плотности ионного тока и напряженности [7]. Так, для рабочего персонала, а также населения, находящегося в сильных ЭСП, на-

пример, на садово-огородных участках вблизи высоковольтных линий, предельно допустимые уровни плотности ионного тока и ЭСП для полного рабочего дня (8 ч) составляют 20 нА/м$^2$ и 15 кВ/м, для пятичасового воздействия — 25 нА/м$^2$ и 20 кВ/м. При напряженности ЭСП = 20 кВ/м расчет допустимого времени работы $t_{доп}$ (в ч) определяется по формуле

$$t_{доп} = \left(\frac{60}{E + 0{,}25 \cdot j}\right)^2,$$

где $E$ и $j$ — фактические значения напряженности ЭСП (кВ/м) и плотности ионного тока (нА/м$^2$).

Допустимое время пребывания в сильных ЭСП при осадках и изморози определяется по этой же формуле при значении плотности ионного тока $j$, увеличенном в 10 раз [7].

## 6.4. Нормализация (коррекция) аэроионного состава воздуха

Если условия пребывания людей в производственных и общественных помещениях не соответствуют гигиеническим требованиям к аэроионному составу воздуха, то должна проводиться его нормализация (коррекция). Это желательно осуществлять и для жилых помещений.

Для нормализации (коррекции) аэроионного состава воздуха необходимо использовать, наряду с систематическим проветриванием, следующие способы и средства:

перемещение из зоны с неблагоприятным уровнем ионизации, сокращение времени работы или пребывания в этих условиях;

аэроионизаторы индивидуального и коллективного пользования;

устройства (системы) автоматического регулирования аэроионного состава воздуха;

деионизаторы (при высоких уровнях ионизации воздуха).

При этом другие показатели воздушной среды с искусственной аэроионизацией должны удовлетворять требованиям действующих санитарно-гигиенических норм и правил, указаний Минздрава РФ, Минстроя РФ и технических условий на проектирование предприятий, согласованных и утвержденных в установленном порядке.

Компенсацию аэроионной недостаточности нельзя проводить в помещениях, в которых применяются вредные химические вещества

или в сильно запыленных помещениях. Перед использованием средств аэроионизации необходимо провести контроль воздуха на предмет определения концентрации химических веществ и аэрозолей.

Для нормализации ионного режима воздуха могут применяться электрические, радионуклидные или гидроаэроионизаторы, которые при эксплуатации должны удовлетворять требованиям методических указаний Минздрава России [9]:

создавать оптимальные концентрации легких ионов, что следует проверять путем проведения контрольных измерений;

не загрязнять воздух аэрозолями, а также озоном, окислами азота и другими вредными веществами;

не выходить за пределы допустимых уровней параметров микроклимата (температуры, влажности, линейной скорости воздуха), электромагнитных излучений, электростатических полей, шумов и вибраций.

Аэроионизаторы, которые при эксплуатации издают запахи, нельзя применять, особенно в бытовых условиях, где не проводится контроль остальных параметров окружающей среды.

В методических указаниях [9] даны общие правила проведения гигиенической оценки, эксплуатации и допуска к эксплуатации аэроионизирующего оборудования: аэроионизаторов, галогенераторов, галокамер, спелеологических камер, карстовых пещер, деионизаторов, электростатических фильтров. Санитарно-эпидемиологическая оценка аэроионизирующего оборудования включает в себя контроль его гигиенических показателей, подлежащих обязательной проверке и приведенных в [9] для каждого из видов этого оборудования.

В целях организации контроля качества аэроионизирующего оборудования в соответствии с требованиями этих методических указаний установлен порядок допуска его к использованию, включая прохождение экспертной оценки этого оборудования одним из профильных по данному направлению учреждений.

## 6.5. Приборы и методы измерения характеристик аэроионов

Основным методом измерения ПОПЭЗ аэроионов является аспирационный метод [13]. На этом методе основана работа практически всех аэроионометрических приборов — счетчиков, спектрометров, анализаторов аэроионов и измерителей электропроводности воздуха.

Парк приборов, используемых для измерения концентрации аэроионов, представлен двумя группами приборов:

универсальные счетчики аэроионов, позволяющие проводить измерения ПОПЭЗ в широком диапазоне электрических подвижностей ионов и электропроводности воздуха и представляющие собой сложные лабораторные приборы в стационарном исполнении, например, UT-7003, UT-8401, АСИ-1;

переносные или портативные счетчики легких ионов, например, АСИ-2, АИ-1, Сапфир-3К, МАС-01.

Следует отметить имеющиеся тенденции в развитии аэроионометрической аппаратуры, частично реализованные, например, в малогабаритном счетчике легких ионов МАС-01:

уменьшение габаритов, массы, потребляемой мощности, применение автономного питания (от аккумуляторных батарей) с целью обеспечения удобства работы со счетчиками ионов при проведении контроля в различных помещениях;

применение встроенных в счетчики микропроцессоров, обеспечение возможности подсоединения счетчиков к персональным компьютерам с целью накопления и обработки данных в ходе проведения измерений и обеспечения многофункциональности, селективности измерений подгрупп ионов и экспрессности измерений.

Плотность ионного потока в соответствии с СН 6232—91 [7] определяется путем измерения тока через металлическую пластину площадью 1м$^2$, снабженную охранным кольцом. Допускается использование пластины площадью 0,25 м$^2$ с последующим перерасчетом. Измерение тока стекания производится при помощи наноамперметра постоянного тока с чувствительностью не менее $10^{-10}$ А, включенного между заземляющим выводом пластины и землей через экранированный кабель. Вблизи высоковольтных линий плотность ионного тока на рабочем месте измеряется в сухую погоду (без осадков) при скорости ветра менее 2 м/с и при относительной влажности не менее 60 %.

В табл. 6.2 приведены основные технические и метрологические характеристики счетчиков аэроионов типа Сапфир-3К и МАС-01, прошедших испытания с целью утверждения типа, допущенных к применению в России и используемых для контроля аэроионного состава воздуха помещений, и лабораторного прибора — универсального счетчика аэроионов UT-8401, используемого обычно для исследовательских целей и для испытания аэроионизирующего оборудования.

Таблица 6.2

**Основные характеристики счетчиков аэроионов**

| Характеристика счетчика | Счетчики аэроионов | | |
|---|---|---|---|
| | Сапфир-3К | МАС-01 | UT-8401 |
| Номер по Госреестру | 18295—99 | 20429—00 | — |
| Диапазон измерений концентрации легких аэроионов, $см^{-3}$ | $2 \cdot 10^2 ... 2 \cdot 10^5$ | $10^2 ... 10^6$ | $50 ... 10^6$ |
| Динамический диапазон, $см^{-3}$ | $10 ... 2 \cdot 10^5$ | $10 ... 10^6$ | $1 ... 2 \cdot 10^7$ |
| Индикация «+» и «—» ионов | Одновременная | Поочередная | Поочередная |
| Выбор поддиапазона измерений | Автоматический | Автоматический | Ручной |
| Форма отсчета показаний | Цифровая | Цифровая | Аналоговая |
| Цикличность показаний, с | 4 | 1 | Непрерывные показания |
| Собственный фон, не более, $см^{-3}$ | 30 | 50 | 10 |
| Питание прибора напряжение, В<br>частота, Гц | Сеть<br>220 ± 22<br>50 ± 1 | Автономное, Аккумуляторные батареи (6 шт.) по 1,25 В | Сеть<br>220 ± 22<br>50 ± 1 |
| Длительность непрерывной работы, не менее, ч | 8 | 6 | 8 |
| Потребляемая мощность, не более, Вт | 25 | 0,95 | 50 |
| Масса, не более, кг | 4,5 | 0,9 | 12 |
| Габариты, $мм^3$ | 240×330×120 | 190×105×65 | 250×335×525 |
| Гарантийный срок, год,<br>при эксплуатации<br>при хранении | <br>1<br>2 | <br>1,5<br>3 | <br>—<br>— |

*Окончание табл. 6.2*

| Характеристика счетчика | Счетчики аэроионов | | |
|---|---|---|---|
| | Сапфир-3К | МАС-01 | UT-8401 |
| Разработчик, изготовитель и ремонт | ЦНИОКР КГТУ, г. Казань | ООО «НТМ-Защита», г. Москва | ТГУ, Эстония, г. Тарту |
| Выполнение поверочных работ | ФГУП «ВНИИФТРИ» | ФГУП «ВНИИФТРИ» | ФГУП «ВНИИФТРИ» |

В настоящее время Минздравом России утверждены методические рекомендации [8], устанавливающие правила проведения контроля аэроионного состава воздуха на рабочих местах, контроля работы аэроионизаторов и методику выполнения измерений концентрации легких ионов. В них [8, 11] отражены общие требования и последовательность процедур (операций), которые необходимо соблюдать при проведении измерений. В общем случае контроль ионизованности проверяемого помещения проводят непосредственно в зоне дыхания человека в месте его нахождения, а для производственных помещений — при работающем персонале и функционирующем оборудовании, в условиях нормального производственного процесса.

При выполнении измерений в соответствии с методикой [8] необходимо выполнить следующее:

определить условия измерений применяемым счетчиком и оценить состояние воздушной среды, проведя измерения температуры, давления, относительной влажности и скорости движения на соответствие требований СанПиН 2.2.4.548—96 [6] и напряженности электрического поля на соответствие требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03 [4] и МУ 4.3.1517—03 [9];

подготовить счетчик аэроионов к работе, провести его опробование, включая определение собственного фона, в соответствии с РЭ и установить его так, чтобы отбор проб в месте нахождения человека осуществлялся из зоны дыхания;

снять крышку с аспирационного входа и произвести необходимые отсчеты показаний счетчика несколько ($\geq 8$) раз;

проверить наличие промахов и, если имеются, исключить [8], определить среднеее арифметическое, максимальное и минимальное значения концентрации легких ионов и занести их в протокол. При гигиенической оценке аэроионизирующего оборудования и при контроле рабочих мест, оборудованных аэроионизаторами, нужно

дополнительно определить доверительную случайную погрешность измерения при доверительной вероятности $P = 0{,}95$ [1], суперпозицию этой погрешности и предела основной погрешности счетчика аэроионов и максимальное и минимальное значения концентрации легких ионов при $P = 0{,}95$ по рабочим формулам методики [8, 11];

провести указанные операции для положительных и отрицательных легких ионов и рассчитать коэффициент униполярности;

сравнить полученные результаты с требованиями, регламентируемыми нормами, например, с нормами для рабочих мест.

Требования санитарных норм [5] признаются выполненными, если полученные значения концентраций легких ионов и коэффициента униполярности находятся внутри диапазонов, определяемых нормируемыми показателями.

## 6.6. Метрологическое обеспечение измерений параметров аэроионов

Для поверки счетчиков аэроионов служит поверочная установка средств измерений ПОПЭЗ аэроионов в диапазоне от 8 до $3{,}2 \cdot 10^5$ пКл/м$^3$, изготовленная ФГУП «ВНИИФТРИ» и утвержденная в качестве рабочего эталона для испытаний и поверки счетчиков легких ионов и испытаний аэроионизаторов по параметру «уровень ионизации воздуха».

Погрешность поверки средств измерений концентрации легких ионов в диапазоне от $7 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^5$ см$^{-3}$ не превышает 15%, а в диапазоне от $10^2$ до $1{,}5 \cdot 10^6$ см$^{-3}$ не превышает 20 %.

Поверка счетчиков проводится по единой методике в соответствии с рекомендацией по методике поверки аспирационных счетчиков легких ионов [3].

Процедура поверки заключается в следующем. При опробовании (и тестировании), определении объемного расхода воздуха и уровня собственного фона убеждаются, что контролируемые величины не выходят за пределы, указанные в нормативной документации (НД) на поверяемый счетчик.

Основная погрешность определяется методом прямого измерения поверяемым счетчиком следующих значений концентрации легких ионов, задаваемых генератором рабочего эталона: $(1{,}5 \pm 0{,}5) \cdot 10^m$ и $(9 \pm 1) \cdot 10^m$ см$^{-3}$, где $m = 2, 3, 4, 5$ (отдельно положительных и отрицательных).

Суммарная основная погрешность для каждой поверяемой точки не должна превышать пределов, установленных в НД поверяемого счетчика. Эта погрешность складывается из относительного отклоне-

ния результата измерения поверяемым счетчиком от действительного значения концентрации, установленной на рабочем эталоне, и относительной доверительной случайной погрешности результата измерения на эталоне при доверительной вероятности, равной 0,95, и числе отсчетов, равном 8.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛ. 6


1. ГОСТ 8.207—76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

2. ГОСТ 12.0.003—74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

3. Р 50.2.022—2002. Рекомендации по метрологии ГСОЕИ. Счетчики аспирационных легких ионов. Методика поверки.

4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы.

5. СанПиН 2.2.4.1294—03. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений.

6. СанПиН 2.2.2.548—96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

7. СН 6032—91. Допустимые уровни напряженности электростатических полей и плотности ионного тока для персонала подстанций и ВЛ постоянного тока ультравысокого напряжения.

8. МУК 4.3.1675—03. Общие требования к проведению контроля аэроионного состава воздуха.

9. МУ 4.3.1517—03. Санитарно-эпидемиологическая оценка и эксплуатация аэроионизирующего оборудования.

10. Захарченко М.П., Бовтюшко В.Г., Хавинсон В.Х., Губернский Ю.Д. Ионизация воздушной среды и здоровье. — С-Пб.: Нордмедиздат, 2002.— 200 с.

11. Колерский С.В., Котляров А.А. Основные требования к измерениям концентрации аэроионов на рабочих местах // АНРИ. — № 2 (29). — М.: Информационный центр НПП «Доза», 2002. — С. 17—20.

12. Скоробогатова А.М. О влиянии ионизированного воздуха на физиологические механизмы адаптации: Труды III Всесоюзного симпозиума. Атмосферное электричество. — Л.: Гидрометеоиздат,1988. — 279 с.

13. Таммет Х.Ф. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов: Уч. записки ТГУ. — Тарту, 1967. — Вып. № 195. — 232 с.

14. Челмерс Дж. А. Атмосферное электричество. — Л.: Гидрометеоиздат, 1974. — 421 с.

15. Чижевский А.Л. Аэроионы и жизнь. — М.: Мысль, 1999. — 716 с.

16. Шандала М.Г. Аэроионизация как неблагоприятный фактор внешней среды — Киев.: Здоровія, 1974. — 164 с.

17. Шилкин А.А., Губернский Ю.Д., Миронов А.М. Аэроионный режим в гражданских зданиях. — М.: Стройиздат, 1988. — 169 с.

18. Kruger A.P., Struble A.E., Yost M.G., Reed E.I. Electric fields, small ions and biological affects //International Journal Biometeorology. — 1978. — V. 22. — № 3. — P. 202—212.

19. Sulman F.Y., Levy D., Lunkan L., Pfeifer Y., Tal E. Absence of Harmful Effects of Protracted Negative Air ionization // International Journal Biometeorology. — 1978. — V. 22. — P. 53—58.

# СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## Глава 1. Электромагнитное поле

**ТИЩЕНКО Владимир Александрович** — Руководитель отдела ФГУП «ВНИИФТРИ», член-корреспондент Метрологической академии, председатель подкомитета по метрологии ТК 30, член ТК 206 Госстандарта России, кандидат физико-математических наук, автор 80 работ в области электродинамики, электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности.

**ТОКАТЛЫ Виталий Ильич** — Ведущий научный сотрудник ФГУП «ВНИИФТРИ», заслуженный метролог РФ, ученый-хранитель Государственного специального эталона единицы напряженности электрического поля, кандидат физико-математических наук, автор 60 работ в области электродинамики, теории антенн.

**ЛУКЬЯНОВ Волемир Игоревич** — Старший научный сотрудник ФГУП «ВНИИФТРИ», кандидат физико-математических наук, автор более 25 работ в области метрологии и создания средств измерений электромагнитных полей.

**РУБЦОВА Нина Борисовна** — Ведущий научный сотрудник НИИ медицины труда РАМН, член Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений, доктор биологических наук, автор более 80 работ в области биологического действия и гигиенического нормирования электромагнитных полей.

**ПОХОДЗЕЙ Лариса Васильевна** — Ведущий научный сотрудник НИИ медицины труда РАМН, кандидат медицинских наук, автор более 60 работ в области изучения биологического и гигиенического нормирования электромагнитного поля.

АНЕВСКИЙ
Сергей
Иосифович

Руководитель сектора ФГУП «ВНИИОФИ», заместитель председателя ТК 386 Госстандарта России, доктор технических наук, автор более 50 работ в области спектрорадиометрии оптического излучения.

ЗОЛОТАРЕВСКИЙ
Юрий
Михайлович

Заместитель директора ФГУП «ВНИИОФИ» по научной работе, действительный член Метрологической академии, заведующий кафедрой Академии стандартизации, метрологии и сертификации (учебной), доктор технических наук, профессор, автор 100 публикаций в области метрологии и спектрофотометрии оптического излучения.

ИВАНОВ
Вячеслав
Семенович

Директор ФГУП «ВНИИОФИ», действительный член Метрологической академии, председатель ТК 371 и ТК 386 Госстандарта России, доктор технических наук, профессор, автор более 100 публикаций в области метрологии и определения характеристик оптического излучения.

КОТЮК
Андрей Федорович

Руководитель лаборатории ФГУП «ВНИИОФИ», действительный член Метрологической академии, заслуженный метролог Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, автор 300 научных публикаций в области метрологии и определения характеристик оптического излучения, в том числе 25 монографий и учебных пособий, 50 авторских свидетельств и двух патентов.

МИНАЕВА
Ольга
Александровна

Ведущий научный сотрудник ФГУП «ВНИИОФИ», ответственный секретарь ТК 386 Госстандарта России, кандидат технических наук, автор 40 публикаций в области спектрорадиометрии оптического излучения и семи авторских свидетельств.

МУРАВСКАЯ
Наталья Павловна

Заместитель директора ФГУП «ВНИИОФИ», член-корреспондент Метрологической академии, ответственный секретарь ТК 371 Госстандарта России, кандидат технических наук, автор 26 публикаций в научно-технической литературе и двух авторских свидетельств в области метрологии и неразрушающего контроля.

| | |
|---|---|
| ПАВЛОВИЧ<br>Мария<br>Николаевна | Заместитель руководителя лаборатории ФГУП «ВНИИОФИ», кандидат технических наук, автор более 40 научных работ в области определения характеристик оптического излучения и пяти изобретений. |
| САПРИЦКИЙ<br>Виктор<br>Ильич | Руководитель лаборатории ФГУП «ВНИИОФИ», доктор технических наук, профессор, автор 170 научных публикаций в области определения характеристик оптического излучения, 20 авторских свидетельств. |

## Глава 3. Ионизирующие излучения

| | |
|---|---|
| БРЕГАДЗЕ<br>Юрий Иосифович | Главный научный сотрудник ФГУП «ВНИИФТРИ», академик Метрологической академии, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, лауреат премии Правительства РФ, Председатель ПК 11 ТК 206 Госстандарта России, член ТК 1.9 КООМЕТ, член Российской научной комиссии по радиационной защите, автор 120 работ в области общих вопросов метрологии и метрологии ионизирующих излучений, в том числе пяти монографий. |
| МАСЛЯЕВ<br>Петр Федорович | Руководитель лаборатории ФГУП «ВНИИФТРИ», член-корреспондент Метрологической академии, член ПК 11 ТК 206 Госстандарта России, кандидат технических наук, лауреат премии Правительства РФ, автор более 80 работ в области дозиметрии и метрологии ионизирующих излучений. |

## Глава 4. Акустические факторы

| | |
|---|---|
| ЛОПАШЕВ<br>Дмитрий<br>Захарович | Почетный член Метрологической академии, в течении 30 лет руководил Лабораторией акустических измерений ФГУП «ВНИИФТРИ», в течение многих лет являлся экспертом ряда технических комитетов ИСО и МЭК кандидат технических наук, автор более 150 работ, в том числе семи монографий в области акустических измерений и метрологии. |
| БОРИСОВ<br>Лев Александрович | Заведующий лабораторией НИИ строительной физики, доктор технических наук, профессор, автор более 100 работ в области борьбы с промышленными шумами и архитектурно-строительной акустики. |

АИСТОВ
**Владимир Алексеевич** — Старший научный сотрудник НИИ строительной физики, автор 30 работ в области борьбы с промышленными городскими шумами и охраны окружающей среды.

## Глава 5. Запыленность атмосферы

БАЛАХАНОВ
Михаил Валентинович (гл. 6) — Заместитель директора по научной работе ФГУП «ВНИИФТРИ», член-корреспондент Метрологической академии и Международной академии экологии и природопользования, эксперт в ИСО, кандидат физико-математических наук, автор более 70 работ в области оптических и других методов определения характеристик аэрозолей, работы в области требований к «чистым» помещениям.

ЛЕСНИКОВ
Евгений
Васильевич — Руководитель лаборатории ФГУП «ВНИИФТРИ», кандидат физико-математических наук, автор более 50 работ в области фотометрии, определения характеристик аэрозолей.

## Глава 6. Аэроионизация

КОЛЕРСКИЙ
Станислав
Владимирович — Старший научный сотрудник ФГУП «ВНИИФТРИ», кандидат технических наук, автор 60 научных работ в области измерений уровней ионизации воздуха.

## СОДЕРЖАНИЕ

**Предисловие** . . . . . 6

**Введение** . . . . . 8

**Глава 1. Электромагнитное поле** . . . . . 10
*В.А.Тищенко, В.И.Токатлы, В.И. Лукьянов, Н.Б. Рубцова, Л.В. Походзей*

1.1. Характеристики электромагнитного поля . . . . . 12
1.2. Механизмы воздействия электромагнитного поля на человека . . 19
1.3. Гигиеническое нормирование электромагнитных полей в окружающей среде . . . . . 22
1.3.1. Принципы гигиенического нормирования воздействия ЭМП в России и за рубежом . . . . . 22
1.3.2. Основные нормативные документы (НД) по санитарно-эпидемиологическому нормированию воздействия электромагнитных полей на население . . . . . 26
1.3.3. Санитарно-эпидемиологические нормативы для электромагнитных полей . . . . . 26
1.4. Контроль уровней электромагнитных полей . . . . . 38
1.4.1. Требования к проведению контроля уровней . . . . . 38
1.4.2. Методы и приборы измерений характеристик электромагнитного поля . . . . . 39
1.4.3. Особенности контроля уровней ЭМП, создаваемых системами сотовой связи . . . . . 49
1.5. Метрологическое обеспечение измерений параметров электромагнитного поля . . . . . 58
Список литературы к гл. 1 . . . . . 59

**Глава 2. Излучение оптического диапазона** . . . . . 63
*С.И. Аневский, Ю.М. Золотаревский, В.С. Иванов, А.Ф. Котюк, О.А. Минаева, Н.П. Муравская, М.Н. Павлович, В.И. Саприцкий*

2.1. Характеристики оптического излучения . . . . . 63
2.2. Механизм воздействия оптического излучения на человека . . . . . 70
2.3. Нормирование характеристик оптического излучения . . . . . 78
2.4. Приборы и методы измерений характеристик оптического излучения . . . . . 81
2.4.1. Методика выполнения измерений характеристик УФ излучения соляриев . . . . . 85
2.5. Метрологическое обеспечение измерений характеристик оптического излучения . . . . . 91
2.5.1. Средства измерений характеристик ультрафиолетового излучения соляриев. Методика поверки . . . . . 92
2.5.2. Общие принципы поверки ультрафиолетовых радиометров, предназначенных для диагностики озонового слоя . . . . . 112

Список литературы к гл. 2 . . . . . 121

**Глава 3. Ионизирующие излучения** . . . . . 123
*Ю.И. Брегадзе, П.Ф. Масляев*

3.1. Характеристики источников и полей ионизирующих излучений, степени воздействия излучений на объекты . . . . . 125
3.2. Механизм воздействия ионизирующего излучения на организм человека . . . . . 132
3.3. Источники ионизирующей радиации . . . . . 138
3.3.1. Природный радиационный фон . . . . . 138
3.3.2. Техногенный радиационный фон . . . . . 140
3.3.3. Проблема радона . . . . . 141
3.3.4. Антропогенные источники радиации . . . . . 144
3.4. Нормирование характеристик ионизирующего излучения . . . . . 146
3.4.1. Принципы нормирования . . . . . 146
3.4.2. Требования к ограничению техногенного облучения в нормальных условиях эксплуатации источников излучения . . 148
3.4.3. Требования к ограничению облучения населения . . . . . 150
3.4.4. Требования к контролю за выполнением установленных норм 158
3.4.5. Значения допустимых уровней радиационного воздействия 160
3.5. Приборы и методы измерений характеристик ионизирующих излучений . . . . . 162
3.5.1. Определение нормируемых величин по результатам инструментального радиационного контроля . . . . . 162
3.5.2. Основные методы измерений . . . . . 167
3.5.3. Средства измерений, наиболее широко используемые в сфере контроля радиационной безопасности . . . . . 171
3.6. Метрологическое обеспечение измерений ионизирующих излучений . . . . . 185
3.6.1. Подходы к государственному метрологическому контролю в сфере обеспечения радиационной безопасности . . . . . 185
3.6.2. Основные средства и методы поверки средств измерений радиационного контроля . . . . . 188
3.6.3. Система аккредитации лабораторий радиационного контроля . . . . . 189
Приложение 3.1. Значения дозовых коэффициентов, пределов годового поступления с воздухом и пищей, допустимой объемной активности во вдыхаемом воздухе и уровней вмешательства при поступлении с водой отдельных радионуклидов для населения . . . 191
Приложение 3.2. Критерии вмешательства на загрязненных территориях . . . . . 210
Приложение 3.3. Нормативы качества и безопасности (по радиационному признаку) для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов . . . . . 212
Приложение 3.4. Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства . . . . . 218

Список литературы к гл. 3 . . . . . 220

**Глава 4. Акустические факторы** . . . . . 223
*Д.З. Лопашев, Л.А. Борисов, В.А. Аистов*

4.1. Величины, используемые для характеристики степени воздействия акустического шума . . . . . 223
4.2. Механизм воздействия акустических факторов на организм человека . . . . . 227
4.2.1. Воздействие слышимого шума . . . . . 227
4.2.2. Воздействие инфразвука . . . . . 227
4.2.3. Воздействие ультразвука . . . . . 228
4.3. Нормирование слышимого шума, инфразвука и ультразвука . . . 228
4.3.1. Нормирование слышимого шума . . . . . 228
4.3.2. Нормирование инфразвука (СН 2.2.4/2.1.8.583—96) . . . . . 250
4.3.3. Нормирование ультразвука (СанПиН 2.2.4/2.1.8.582—96) . . 250
4.4. Приборы и методы измерений акустического шума . . . . . 251
4.4.1. Характеристики приборов для измерения шума . . . . . 251
4.4.2. Общая характеристика методов измерений шума . . . . . 260
4.4.3. Измерение слышимого шума . . . . . 262
4.4.4. Измерение инфразвука (СН 2.2.4/2.1.8.583—96) . . . . . 277
4.4.5. Измерение ультразвука (СанПиН 2.2.4/2.1.8.582—96 и ГОСТ 12.1.001—89) . . . . . 278
4.5. Измерения акустических характеристик материалов, конструкций и экранов . . . . . 279
4.5.1. Измерение акустических характеристик материалов и конструкций . . . . . 281
4.5.2. Измерение характеристик экранов (ИСО 10847) . . . . . 288
4.6. Метрологическое обеспечение измерений акустического шума . . 291
4.6.1. Поверка шумомеров . . . . . 292
4.6.2. Поверка образцовых источников шума . . . . . 292
4.7. Закономерности распространения шума в окружающей среде . . 295
4.8. Методы расчета ожидаемого уровня шума на территории городской застройки и в помещениях зданий от внешних источников шума . . . . . 297
4.9. Градостроительные и строительные средства защиты от шума . . 299
Список литературы к гл. 4 . . . . . 304

**Глава 5. Запыленность атмосферы** . . . . . 316
*М.В. Балаханов, Е.В. Лесников*

5.1. Аэрозольное состояние вещества как активный фактор воздействия на организм человека . . . . . 316
5.2. Механизмы воздействия аэрозолей на человека . . . . . 318
5.2.1. Общая характеристика воздействия аэрозольных частиц на человека . . . . . 318
5.2.2. Влияние дисперсного состава аэрозолей на характер воздействия на человека . . . . . 321
5.3. Нормирование параметров аэрозольного воздействия . . . . . 329

5.4. Общая характеристика методов и приборов измерения параметров запыленности воздуха . . . . . 332
5.5. Метрологическое обеспечение измерений параметров аэрозолей 345
Список литературы к гл. 5 . . . . . 348

**Глава 6. Аэроионизация** . . . . . 351
*С.В.Колерский, М.В.Балаханов*

6.1. Характеристики аэроионов и их параметры . . . . . 351
6.2. Воздействие аэроионов на человека . . . . . 353
6.3. Нормирование параметров аэроионов . . . . . 355
6.4. Нормализация (коррекция) аэроионного состава воздуха . . . . . 358
6.5. Приборы и методы измерения характеристик аэроионов . . . . . 359
6.6. Метрологическое обеспечение измерений параметров аэроионов . 363
Список литературы к гл. 6 . . . . . 364

Сведения об авторах . . . . . 366

## CONTENTS

**Foreword** . . . . . 6

**Introduction** . . . . . 8

**Chapter 1. Electromagnetic field** . . . . . 10
*V.A. Tishchenko, V.I. Tokatly, V.I. Lukjanov, N.B. Rubtsova, L. V. Pohodzej*

1.1. Electromagnetic field characteristics . . . . . 12
1.2. Electromagnetic field exposure to human body effects mechanisms . . . 19
1.3. Hygienic rate setting of environmental electromagnetic fields . . . . . 22
1.3.1. Electromagnetic field exposure hygienic standardization principles in Russia and abroad . . . . . 22
1.3.2. The basic normative documents on sanitary-epidemiological standardization of general public electromagnetic field exposure . 26
1.3.3. Electromagnetic field sanitary-epidemiological norms . . . . . 26
1.4. Electromagnetic field levels control . . . . . 38
1.4.1. Electromagnetic field levels control requirements . . . . . 38
1.4.2. Methods and devices of electromagnetic field characteristics measurement . . . . . 39
1.4.3. Cellular communication system electromagnetic field levels control features . . . . . 49
1.5. Metrological maintenance of electromagnetic field parameters measurements . . . . . 58
Literature to chapter 1 . . . . . 59

**Chapter 2. Radiation of ontical range** . . . . . 63
*S.I. Anevsky, J.M. Zolotarevsky, V.S. Ivanov, A.F. Kotjuk, Q.A Mmaeva, N.P. Muravskaja, M.N. Pavlovich, V.I. Sapritsky*

2.1. Optical radiation characteristics . . . . . 63
2.2. Optical radiation human exposure effects mechanisms . . . . . 70
2.3. Optical radiation characteristics rate setting . . . . . 78
2.4. Optical radiation characteristics measurement devices and methods . . . 81
2.4.1. Sun desks ultra-violet characteristics measurement technique . . . 85
2.5. Metrological maintenance of optical radiation characteristics . . . . . 91
2.5.1. Sun desks ultra-violet radiation measurement means. A technique of checking . . . . . 92
2.5.2. General principles of intended for ozone cloud diagnostics ultra-violet radiometers checking . . . . . 112
Literature to chapter 2 . . . . . 121

**Chapter 3 Ionizing radiation** . . . . . 123
*J.I. Bregadze, P.F Masljaev*

3.1.Characteristics of ionizing sources and fields, degrees of radiation effects to objects . . . . . 125
3.2. Ionizing radiation human exposure effects mechanisms . . . . . 132
3.3. Ionizing radiation sources . . . . . 138
3.3.1. Natural radiation background . . . . . 138
3.3.2. Technogenous radiation background . . . . . 140
3.3.3. Radon problem . . . . . 141
3.3.4 Antropogenous radiation sources . . . . . 144
3.4. Ionizing radiation characteristics rate setting . . . . . 146
3.4.1. Rate setting principles . . . . . 146
3.4.2. Requirements to restriction of technogenous irradiation from radiation sources in normal operation conditions . . . . . 148
3.4.3. Requirements to restriction of general public irradiation . . . . . 150
3.4.4. Established norms performance control requirements . . . . . 158
3.4.5. Radiation exposure permissible kimits values . . . . . 160
3.5. Ionizing radiation characteristics measurement devices and methods . . . 162
3.5.1. Definition of normalized values by results of tool-making radiation control . . . . . 162
3.5.2. Basic methods of measurement . . . . . 167
3.5.3. Most widely used for control of radiation safety measurement means 171
3.6. Ionizing radiation measurements metrological maintenance . . . . . 185
3.6.1. Approaches to the state metrological control over area of radiation safety maintenance . . . . . 185
3.6.2. Main means and methods of radiation control measurement means checking . . . . . 188
3.6.3. System of accreditation of radiation control laboratories . . . . . 189
Appendix 3.1. Values of dose factors, limits of annual receipt with air and the food allowable of volumetric activity in inhaled air and levels of intervention at receipt with water separate radio nuclear units for general public . . . . . 191

Appendix 3.2. Criteria of intervention in the polluted territories . . . . . 210
Appendix 3.3. Quality and safety norms (by radiating paramenter) for human, food raw material and foodstuff . . . . . 212
Appendix 3.4. Permissible levels of $Cs_{137}$ and $Sr_{90}$ content in forestry production 218
Literature to chapter 3 . . . . . 220

**Chapter 4. Acoustic factors** . . . . . 223
*D.Z. Lopashev, L.A. Borisov, V.A. Aistov*

4.1. Values used for acoustic noise exposure effects degree characteristics . . 223
4.2. Acoustic factors human exposure effects mechanisms . . . . . 227
4.2.1. Audible noise exposure . . . . . 227
4.2.2. Infra-sound exposure . . . . . 227
4.2.3. Ultra-sound exposure . . . . . 228
4.3. Rate setting of audible noise, infra-sound and ultra-sound . . . . . 228
4.3.1. Rate setting of audible noise . . . . . 228
4.3.2. Rate setting of infra-sound Sanitary rules and norms 2.2.4 / /2.1.8.583—96 . . . . . 250
4.3.3. Rate setting of ultra-sound Sanitary rules and norms 2.2.4/ /2.1.8.582—96 . . . . . 250
4.4 Audible noise measurement methods and devices . . . . . 251
4.4.1. Characteristics of devices for noise measurement . . . . . 251
4.4.2. Noise measurement methods general characteristics . . . . . 260
4.4.3. Audible noise measurement . . . . . 262
4.4.4. Infra-sound measurements, Sanitary rules and norms 2.2.4/ /2.1.8.583—96 . . . . . 277
4 4.5. Ultra-sound measurements, Sanitary rules and norms 2.2.4/ /2.1.8.582—96 . . . . . 278
4.5. Measurement of acoustic characteristics of material, designs and screens 279
4.5.1. Measurement of acoustic characteristics of material and designs . . 281
4.5.2. Measurement of screen characteristics, ISO 10847 . . . . . 288
4.6. Acoustic noise measurements metrological maintenance . . . . . 291
4.6.1. Noise meters checking . . . . . 292
4.6.2. Standard noise sources checking . . . . . 292
4.7. Natural laws of environmental distribution of noise . . . . . 295
4.8. Methods of calculation of expected noise levels in city territory and inside of buildings from external noise sources . . . . . 297
4.9. Town-planning and building means of protection from sound . . . . . 299
Literature to chapter 4 . . . . . 304

**Chapter 5. Dust content of an atmosphere** . . . . . 316
*M. V. Balahanov, E. V. Lesnikov*

5.1. Aerosol condition of substance as the active factor . . . . . 316
5.2. Aerosol human exposure effects mechanisms . . . . . 318
5.2.1. General characteristics of aerosol particles human exposure effects 318
5.2.2. Disperse structure of aerosol effect to its human influence . . . . . 321
5.3 Aerosol exposure parameters rate setting . . . . . 329
5.4. General characteristics of air dust content parameters means and devices 332
5.5. Metrological maintenance of aerosol characteristics measurement . . . . 345
Literature to chapter 5 . . . . . 348

**Chapter 6. Air ionization** . . . . . 351
*S. V.Kolersky, M. V. Balahanov*

6.1. Air ions characteristics and its parameters . . . . . 351
6.2. Air ions human exposure . . . . . 353
6.3. Air ions parameters rate setting . . . . . 355
6.4. Normalization (correction) of air ion structure of air . . . . . 358
6.5. Devices and methods of air ion characteristics measurement . . . . . 359
6.6. Metrological maintenance of air ions measurement . . . . . 363
Literature to chapter 6 . . . . . 364
Information about authors . . . . . 366

Справочное издание

**ЭНЦИКЛОПЕДИЯ «ЭКОМЕТРИЯ»**

**Контроль физических факторов окружающей среды, опасных для человека**

Редакторы *Т. А. Киселева, Н. А. Аргунова, Н. Н. Кузьмина*
Художник *А. А. Пчелкин*
Технический редактор *О. Н. Власова*
Корректор *Н. И. Гаврищук*
Компьютерная верстка *З. И. Мартыновой*

Изд. лиц. № 02354 от 14.07.2000. Сдано в набор 28.10.2003. Подписано в печать 17.11.2003. Формат $60\times90^{1}/_{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 23,50. Уч.-изд. л. 23,90. Тираж 3000 экз. Зак. 2513. Изд. № 3131/7. С 12706.

ИПК Издательство стандартов, 107076 Москва, Колодезный пер., 14.
http.//www.standards.ru e-mail: info@standards.ru
Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов,
248021 Калуга, ул. Московская, 256.
ПЛР № 040138