

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ  
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Северо-Кавказский филиал  
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»

Методические указания  
к лабораторным работам

по дисциплине  
«Чрезвычайные ситуации мирного и военного времени»

(направление подготовки 10.03.01)

Ростов-на-Дону  
2022

Методические указания  
к лабораторным работам

по дисциплине  
«Чрезвычайные ситуации мирного и военного времени»

Составитель: Э.А. Бинеев, профессор

Рассмотрено и одобрено  
На заседании кафедры ОНП  
Протокол № 1 от 29.08. 2022

# Лабораторная работа 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ТОКСИЧНЫМИ (ВРЕДНЫМИ) И ВЗРЫВЧАТЫМИ ГАЗАМИ

**Цель работы:** ознакомиться со свойствами, местами возможного появления наиболее распространенных вредных, токсичных и взрывчатых газов, методами и средствами их определения, контроля и оценки состояния атмосферы, научиться проводить измерения концентраций различных газов и производить гигиеническую оценку состояния воздушной среды, получить некоторые навыки проведения научных исследований, отработки и анализа результатов эксперимента.

**Содержание работы:** 1. Изучить устройство и принцип действия имеющихся газоанализаторов и научиться пользоваться ими.

2. Произвести измерения концентраций вредных и взрывчатых газов в различных точках (на высоте и площади) модели горной выработки, нарисовать графики изменения концентраций метана и углекислого газа по высоте модели, выполнить их описание и анализ, сделать выводы о причинах изменений и соответствии состава воздуха в модели допустимым нормам.

3. Выполнить контроль состава выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания автомобилей на различных режимах работы, сделать анализ результатов и оценку соответствия состава гигиеническим нормативам.

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Известно, что атмосферный воздух состоит из азота (78,1 %), кислорода (20,95 %), углекислого газа (0,03 %), инертных и других газов (около 1 %).

В горных выработках и некоторых производственных помещениях (на химических и металлургических предприятиях, в котельных, гальванических

и кузнечных цехах, в канализационных колодцах, в помещениях, где установлены двигатели внутреннего сгорания, компрессоры, где используется природный газ, ведутся сварочные работы и др.) воздух по составу может значительно отличаться от атмосферного. Изменение состава воздуха происходит вследствие уменьшения содержания кислорода, увеличения концентрации углекислого газа и азота, загрязнения токсичными и взрывчатыми газами (оксидом углерода (II), диоксидом серы, оксидами азота, формальдегидом, водородом, метаном и др.), токсичными парами (акролеина, бензина, ртути и др.), вредными и взрывчатыми пылями и сажей.

В зависимости от степени снижения содержания кислорода и концентрации токсичных или взрывчатых газов атмосфера в горных выработках и помещениях может стать удушливой, ядовитой (отравляющей) и взрывоопасной. Вследствие чего безопасность, и нередко и сама жизнь людей, работающих в горных выработках и некоторых производственных помещениях, в значительной мере зависят от содержания кислорода, ядовитых и взрывчатых газов в их атмосфере. Именно поэтому в соответствии с действующим в нашей стране законодательством содержание кислорода и предельно допустимые концентрации токсичных и взрывчатых газов в атмосфере шахт, рудников карьеров и рабочей зоне некоторых производственных помещений строго регламентируются и регулярно контролируются.

Контроль осуществляется или путем отбора проб воздуха и последующего анализа их в лаборатории (лабораторный метод), или путем замера содержания того или иного газа в воздухе непосредственно на рабочем месте с помощью специальных газоанализаторов (экспресс-метод или оперативный контроль).

Лабораторный метод анализа входит в функции специальных служб (ВГСЧ, государственной санитарной инспекции и др.).

Оперативный контроль состава атмосферы (содержания отдельных газов) в горных выработках (помещениях) производят рабочие и инженерно-

технические работники (ИТР), осуществляющие надзор за ведением соответствующих работ. В табл.1 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) отдельных газов в рудничной атмосфере, в табл.2 – ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений.

Таблица 1

Предельно допустимые концентрации отдельных газов в рудничной атмосфере. Правила безопасности в угольных шахтах (ПБ 05-618-03) (извлечения)

Название газа	Формула	ПДК	
		% (об.)	мг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4
Кислород	O <sub>2</sub>	20,0	
Углекислый газ	CO <sub>2</sub>	0,5	
Оксид углерода II	CO	0,0017	20
Сероводород	H <sub>2</sub> S	0,00070	10
Диоксид серы	SO <sub>2</sub>	0,00038	10
Оксиды азота	NO <sub>2</sub>	0,00025	5
Метан	CH <sub>4</sub>	1,0; 0,75; 2,0	300
Бензин			300

Таблица 2

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы (ГН 2.2.5.1313-03) (извлечения)

№ п/п	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>		Класс опасности
			максималь- ная разовая	средне- сменная	
1	2	3	4	5	6
1	Азота диоксид	NO <sub>2</sub>	2		3

2	Азота оксиды (в пересчёте на NO <sub>2</sub> )		5		3
3	Азотная кислота	HNO <sub>3</sub>	2		3
4	Аммиак	NH <sub>3</sub>	20		4
5	Ацетон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	200		4
6	Бензин (в пересчёте на углерод)		100		4
7	Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	15	5	2
8	Бенз(а)пирен	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	0,00015		1
9	Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	50		3
10	Метан	CH <sub>4</sub>	300		4
11	Метанол	CH <sub>4</sub> O	5,0		3
12	Озон	O <sub>3</sub>	0,1		1
13	Серная кислота	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,0		2
14	Сероводород	H <sub>2</sub> S	10		2
15	Серы диоксид	SO <sub>2</sub>	10		3
16	Спирт этиловый	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	1000		4
17	Тетраэтилсвинец	C <sub>8</sub> H <sub>20</sub> Pb	0,005		1
18	Толуол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	150	50	3
19	Уайт-спирит (в пересчёте на C)		300		4
20	Углерода монооксид	CO	20		4
21	Уксусная кислота	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	5		3
22	Фенол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	0,3		2
23	Хлор	Cl <sub>2</sub>	1		2

## **2. ПРИБОРЫ И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОВ И ПАРОВ**

### **2.1. Приборы и методика определения концентрации метана, углекислого газа, кислорода и токсичных газов в рудничном воздухе**

Для контроля состава рудничной атмосферы непосредственно на месте ведения работ или при разведке горных выработок применяются следующие переносные газоопределители: шахтные интерферометры ШИ-6, ШИ-10, ШИ-11, ИГА; газоанализаторы химические ГХ-5, ГХ-6, ГХ-М, мультигазоанализаторы МХ-2000, МХ- 2100, метанометры-сигнализаторы термохимические МСТ и др.

*Шахтный интерферометр ШИ-10* представляет собой переносной прибор, предназначенный для определения концентрации метана и углекислого газа в рудничном воздухе. Прибором могут пользоваться вентиляционный надзор и ИТР шахт.

*Принцип работы прибора.* Принцип действия прибора основан на явлении зависимости изменения оптической плотности анализируемого воздуха от концентрации в нем  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ .

Работа прибора организована так, что два когерентных луча света проходят соответственно через чистый воздух и содержащий указанные газы. При наложении этих лучей создается интерференционная картина, которая может смещаться при изменении оптической плотности анализируемого воздуха. Величина смещения пропорциональна разности между показателями преломления света исследуемой газовой смеси и атмосферного воздуха, а следовательно, концентрации определяемого компонента.

Интерференционная картина имеет две черные полосы. Исходное (нулевое) положение интерференционной картины фиксируется путем совмещения левой черной полосы с нулевой отметкой неподвижной шкалы. Шкала прибора с равномерными делениями градуирована в процентах (по объему). Цена деления шкалы 0,25 % (об.).

*Конструкция прибора.* Общий вид прибора без футляра показан на рис. 1.

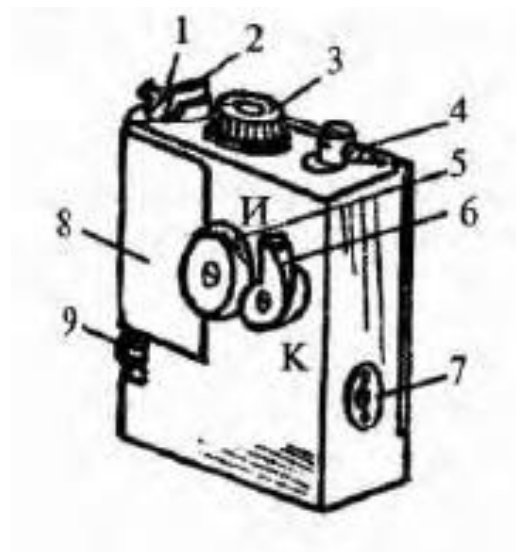


Рис. 1 Общий вид шахтного интерферометра ШИ-10

На корпусе прибора размещены: штуцер 1 для забора пробы рудничного воздуха; распределительный кран 2; окуляр 3; штуцер 4, на который надевается трубка резиновой груши; микровинт 5 для перемещения интерференционной картины в поле зрения окуляра; переключатель 6 для перемещения газовой воздушной камеры в положение «И» – измерение и «К» – контроль; кнопка 7 включения источника света; патрон с лампой 8; крышка отделения с поглотительным патроном 9.

Внутри корпус прибора разделен перегородками на три отделения. В первом отделении размещаются оптические детали прибора (рис. 7.2 и 7.3): лампа накаливания Л; конденсорная линза К; плоскопараллельная пластинка (зеркало) 3; подвижная газовой воздушная камера А, имеющая три сквозных полости – 1, 2, 3, ограниченные плоскопараллельными стеклянными пластинами 4; призмы полного внутреннего отражения П и П<sub>1</sub>; зеркало З<sub>1</sub>; зрительная труба с объективом ОБ, окуляром ОК и щелевой диафрагмой с отсчетной шкалой Ш.

На рис. 2 показан ход лучей при определении содержания метана или углекислого газа. В этом случае свет от лампы накаливания Л проходит через



конденсорную линзу К и параллельным пучком падает на зеркало 3, где пучок света разлагается на два когерентных луча.

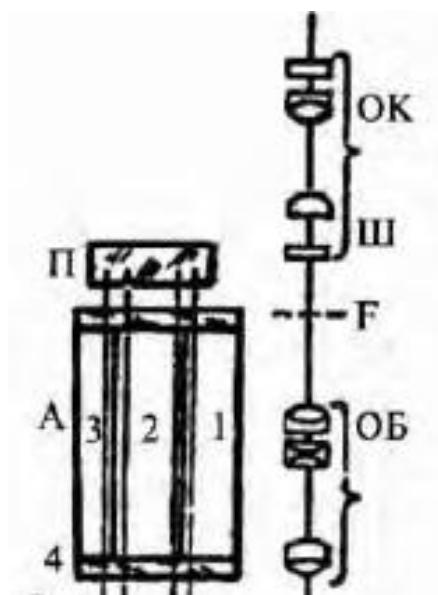


Рис. 2 Оптическая схема интерферометра ШИ-10 (ход лучей при определении концентраций метана и углекислого газа)

Первый луч света отражается верхней гранью зеркала 3, проходит по полостям 1 и 3 газовой воздушной камеры, которые заполнены чистым атмосферным воздухом, отражается призмами П, П<sub>1</sub> и после двукратного прохождения по полостям 1 и 3 выходит из камеры.

Второй луч света, отразившись от нижней посеребренной грани зеркала 3 и преломившись на его верхней грани, проходит через полость 2 газовой воздушной камеры, заполненной рудничным воздухом, после отражения призмами П, П<sub>1</sub> и четырехкратного прохождения полости 2 выходит из нее.

Оба луча света, выйдя из камеры, попадают на зеркало 3 и отраженные его верхней и нижней гранями сходятся в один световой пучок, который зеркалом 3<sub>1</sub> отклоняется под прямым углом и направляется в объектив ОБ.

Выйдя из объектива ОБ, пучок света проходит через щелевую диафрагму Ш с отсчетной шкалой в окуляр ОК, через который наблюдается интерференционная картина. При этом лучи света проходят через разные

газовоздушные среды, в результате чего происходит смещение интерференционной картины относительно нулевой отметки шкалы. По величине этого смещения производится определение процентного содержания метана и углекислого газа.

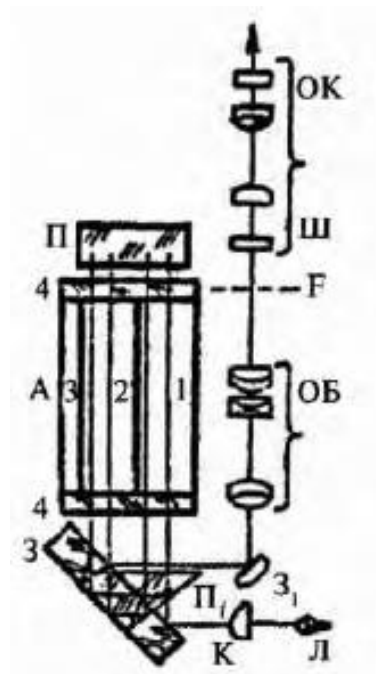


Рис. 3. Оптическая схема интерферометра ШИ-10 (ход лучей при установке и проверке нуля)

На рис. 3 показан ход лучей при установке и проверке нулевого положения интерференционной картины. В этом случае свет от лампы Л проходит через конденсорную линзу К и параллельными пучками падает на зеркало 3, где пучок света разделяется на два интерферирующих луча.

Оба луча света, отразившись от верхней и нижней граней зеркала, дважды проходят через полости 1 и 2 газовой воздушной камеры в результате отражения катетными гранями призм П и П<sub>1</sub>. Затем оба луча света попадают на зеркало 3, отражаются его нижней и верхней гранями и сходятся в один световой пучок, который зеркалом 3<sub>1</sub> отклоняется под прямым углом и направляется в объектив ОБ. Верхняя линза объектива выполнена подвижной, что дает возможность перемещать интерференционную картину вдоль отсчетной шкалы и устанавливать ее в нулевое положение.

Выйдя из объектива ОБ, пучок света проходит через щелевую диафрагму Ш с отсчетной шкалой и попадает в окуляр ОК. В этом случае на пути интерферирующих лучей находятся полости 1 и 2 газовой воздушной камеры. Так как оптическая длина пути обоих интерферирующих лучей света одинакова, независимо от того будет ли в газовой полости 2 газовой воздушной камеры воздух, или другой газ, интерференционная картина смещаться не будет, т.е. останется в исходном, нулевом положении.

Во втором отделении (нижнем) находится лабиринт, представляющий собой катушку с намотанной на ней трубкой из полихлорвинила. Здесь же помещается сухой элемент типа 343 для питания лампы. Эта часть прибора закрывается выдвижной крышкой.

В третьем отделении корпуса прибора размещен поглотительный патрон. Здесь же находится штуцер, для резиновой груши, используемой при заполнении воздушной линии чистым атмосферным воздухом. После прокачки воздушной линии прибора штуцер закрывается резиновым колпачком.

Газовоздушная схема прибора (рис. 4) состоит из двух обособленных друг от друга линий, газовой и воздушной.

В газовую входят: распределительный кран 4, предназначенный для изменения направления движения газовой смеси в зависимости от определяемого газа ( $\text{CH}_4$  или  $\text{CO}_2$ ); поглотительный патрон 5, разделенный на две части; соединительные резиновые трубки 8; газовая полость 2 газовой воздушной камеры. Одна часть патрона заполняется химическим поглотителем известковым (ХПИ) для поглощения  $\text{CO}_2$  из газовой смеси, другая часть – гранулированным силикагелем для поглощения паров воды. Обе части поглотительного патрона имеют фильтры для улавливания пыли.

В воздушную линию прибора входят: штуцер 6; соединительные резиновые трубки 9; воздушные полости 1 и 3 газовой воздушной камеры; лабиринт 7, предназначенный для поддержания в воздушной линии

прибора давления, равного атмосферному, и сохранения чистого атмосферного воздуха.

При определении метана рудничный воздух через распределительный кран попадает в отделение поглотительного патрона, заполненное ХПИ, где очищается от  $\text{CO}_2$ . Затем воздух по соединительной трубке попадает в отделение поглотительного патрона, заполненное силикагелем, где он очищается от паров воды и пыли. Далее попадает в полость 2 газовой воздушной камеры, откуда через резиновую грушу выходит в атмосферу.

При определении  $\text{CO}_2$  рудничный воздух через распределительный кран и соединительную трубку сразу попадает в отделение поглотительного патрона, где очищается от влаги и пыли и далее попадает в полость 2 газовой воздушной камеры. Направление движения атмосферного и рудничного воздуха при засасывании их в прибор показано на рис. 4 стрелками.

Перед спуском в шахту прибор должен быть подготовлен к работе. Перед началом эксплуатации прибора (особенно после длительного хранения) необходимо проверить работоспособность поглотительного патрона. В случае необходимости надо сменить силикагель и ХПИ в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

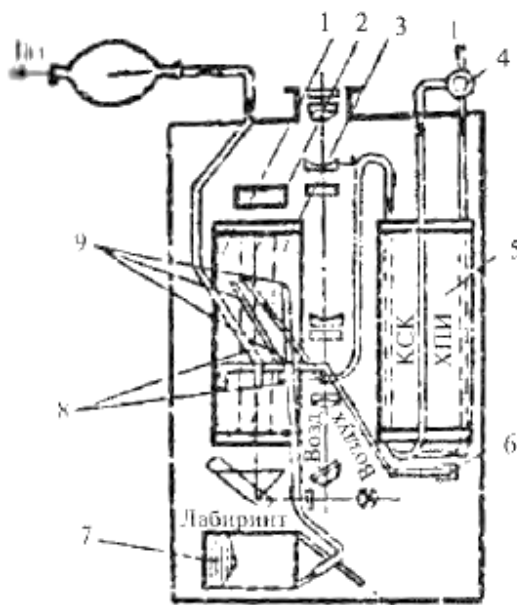


Рис. 4. Газовые и воздушные линии интерферометра

Проверить исправность резиновой груши. Для этого необходимо сжать грушу рукой и, зажав конец ее резиновой трубки, проследить, как быстро расправляется груша в разжатой руке. Резиновая груша, пригодная для работы, не должна расправляться. В случае быстрого расправления ее следует заменить.

Проверить герметичность газовой линии прибора. Для этого резиновую трубку груши надеть на штуцер (см. рис. 7.1), закрыть плотно штуцер 1 и произвести сжатие груши. Газовая линия герметична, если после разжатия руки груша не расправляется. При быстром расправлении необходимо найти и устранить неисправность прибора.

Продуть воздушную и газовую линии прибора чистым атмосферным воздухом можно следующим образом: прибор вынуть из футляра, снять крышку 9 с отделения, в котором находится поглотительный патрон, со штуцера 6 (см. рис. 4) снять резиновый колпачок и на его место надеть резиновую трубку из комплекта прибора, второй конец которой надеть на штуцер 4 и сделать 5–6 сжатий груши. После прокачивания чистым воздухом воздушной и газовой линий штуцер 6 закрыть резиновым колпачком и надеть крышку, а прибор поместить в футляр.

Нажать кнопку включения лампы и посмотреть в окуляр. Если интерференционная картина и шкала окажутся нечеткими, вращением окуляра добиться их резкого изображения.

Установить интерференционную картину в нулевое положение. Для этого переключатель 6 (см. рис. 1) поставить в положение «К» и, наблюдая в окуляр за положением интерференционной картины медленно вращать микровинт 5 до совмещения левой черной полосы интерференционной картины с нулевой отметкой шкалы. Поставить переключатель 6 в положение «И». Поместить прибор в футляр.

*В интерферометре ШИ-11* перемещение газовой воздушной камер в положение «К» производится нажатием на соответствующий переключатель с пружиной, которая затем автоматически переводит его в положение «И».

При определении содержания метана распределительный кран (см. рис 7.1.) ставится в положение «CH<sub>4</sub>». Путем трех сжатий резиновой груши проба рудничного воздуха через штуцер 1 или резиновую трубку, надетую на этот штуцер, прокачивается через прибор. Если набранный в прибор рудничный воздух содержит метан, то интерференционная картина сместится вправо вдоль шкалы. При наблюдении в окуляр по смещенному положению левой черной полосы интерференционной картины производится отсчет делений шкалы, и результат выражается с точностью до 0,1 %.

Для повторного определения содержания метана предварительной подготовки прибора не требуется, так как при трехкратном прокачивании грушей газовой линии предыдущая проба полностью удаляется из прибора и заменяется новой.

Для определения содержания углекислого газа в рудничном воздухе необходимо вначале сделать измерение концентрации метана указанным выше способом. Затем распределительный кран 2 ставится в положение «CO<sub>2</sub>» и производится прокачивание рудничного воздуха в прибор путем сжатий резиновой груши. Отсчет по шкале выполняется так же, как и при определении Концентрации метана.

Полученный отсчет покажет суммарное содержание в воздухе Метана и CO<sub>2</sub>. Оба эти определения необходимо делать в одном и том же месте и на одинаковой высоте от почвы выработки. Концентрация CO<sub>2</sub> равна разности второго и первого отсчетов.

*Газоопределитель ШИ-6, или ИГА* предназначен для определения и рудничной атмосфере процентного содержания метана, углекислого газа и кислорода. Пределы измеряемых концентраций CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> составляют от 0 до 6 % (об.), а кислорода – от 20,9 до 5 % (об.). Допустимая погрешность прибора ШИ-6 по метану и углекислому газу  $\pm 0,3$  % , а по кислороду – от  $\pm 0,3$  до 0,5 %.

При применении шахтных интерферометров в аварийных условиях следует учитывать, что их показания соответствуют технической характеристике только при замерах в проветриваемых выработках.

При ухудшении проветривания, вызвавшем понижение содержания кислорода в воздухе, при запуске в пожарный участок инертных газов, а также при наличии в рудничном воздухе водорода интерферометры дают неверные показания. Такие отклонения возможны в условиях развитого пожара, при его изоляции, в этих случаях для контроля за составом рудничной атмосферы необходимо производить отбор проб воздуха для лабораторного анализа.

Прибор ИГА (ШИ-6) помещается в специальный футляр с прорезями для доступа к выведенным наружу частям прибора, а резиновая груша укрепляется на плечевом ремне футляра.

Вся оптическая часть прибора, газовоздушные камеры (подвижная и неподвижная) и лабиринт находятся в самом большом отделении корпуса прибора, плотно закрыты крышкой.

В комплект прибора входят пять пронумерованных поглотительных трубок с активированным углем, предназначенных для адсорбции метана при определении кислорода.

Перед спуском в шахту прибор должен быть подготовлен к работе. Для этого производят внешний осмотр прибора и устанавливают наличие всех деталей (колпачков, груши), целостность защитного стекла окуляра и стекла на шкале верньера, проверяют исправность резиновой груши и герметичность прибора.

Далее необходимо заполнить чистым воздухом газовую камеру. Для этого не менее пяти раз сжимают грушу. Затем воздушную линию заполняют чистым воздухом, для чего необходимо вынуть прибор из футляра, сняв предварительно грушу со штуцера с фильтром; снять крышку с отделения с поглотительным патроном; со штуцера через который производят заполнение чистым воздухом воздушной линии прибора, снять резиновый колпачок и на

его место надеть резиновую трубку, имеющуюся в комплекте прибора, второй конец надеть на свободный выхлопной штуцер резиновой груши. Конец другой трубки от груши (со стороны всаса) надеть на штуцер с фильтром и 5 – 10 раз сжать грушу, нагнетая осушенный воздух в воздушную линию, после чего закрыть штуцер резиновым колпачком.

После того как будут заполнены чистым воздухом газовая и воздушная линии прибора, переключатель положения подвижной камеры поставить в положение «O<sub>2</sub>», нажать кнопку и посмотреть в окуляр. Если видимые в поле зрения окуляра интерференционная картина и шкала будут неясными, то нужно добиться улучшения резкости с помощью вращения окуляра вправо или влево.

Далее необходимо установить прибор на «нуль» шкалы. Для этого, вращая маховичок, установить механизм верньера на нуль, отвернуть резьбовой колпачок и, наблюдая в окуляр за положением интерференционной картины, вращать маховичок вправо или влево, чтобы добиться совмещения левой черной полосы с нулевым делением шкалы для метана.

Для определения содержания метана переключатель ставят в положение «CH<sub>4</sub>» и не менее 5 раз сжимают резиновую грушу. Затем нажимают кнопку (прибор держат кнопкой «от себя») и производят отчет по шкале метана. При этом нулевое деление шкалы верньера должно быть совмещено с неподвижной риской. Пользоваться верньером во время определения метана или углекислого газа нельзя.

Для установления содержания CO<sub>2</sub> необходимо прежде определить концентрацию метана в том же месте и на той же высоте от подошвы выработки, где будет производиться замер углекислого газа. Затем следует отвернуть и снять колпачок и снова произвести подачу воздуха в прибор, сжимая грушу не менее 5 раз, после чего произвести отсчет по шкале. Вычтя из полученного показания отсчет, соответствующий содержанию метана, получим содержание углекислого газа в воздухе.



Содержание кислорода в рудничном воздухе определяется в средней части сечения выработки. Переключатель нужно поставить в положение «O<sub>2</sub>», колпачок закрыть, к штуцеру для всасывания воздуха подсоединить поглотительную трубку с активированным углем, служащую для поглощения метана из пробы воздуха, и 11 раз сжать резиновую грушу. При определении содержания кислорода необходимо строго придерживаться указанного количества сжатий груши, так как это обеспечивает просасывание необходимого объема воздуха через прибор.

Поглотительная трубка с активированным углем предназначена для разового определения концентрации кислорода в рудничном воздухе. Повторное использование ее возможно после продувки чистым воздухом на поверхности или на входящей вентиляционной струе, не содержащей метана. Продувка поглотительной трубки производится до полного удаления из нее метана, для чего необходимо 60 раз сжать грушу, надетую на трубку.

Отсчет содержания кислорода производится при нажатой кнопке следующим; образом: целое число процента отсчитывают по шкале кислорода, видимой в окуляре, а десятые доли процента - по шкале верньера. Если левая черная полоса интерференционной картины находится между двумя штрихами шкалы кислорода, вращая маховичок механизма верньера против часовой стрелки, эту полосу необходимо совместить с целым делением шкалы кислорода, после чего произвести отсчет, как указано выше.

*Газоопределитель химический ГХ-6 (ГХ-М)* предназначен для определения концентраций CO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, оксидов азота, O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> рудничной атмосфере и воздухе рабочей зоны производственных помещений.

Работа газоанализатора основана на линейно-колориметрическом методе анализа. При протягивании воздуха, содержащего вредные примеси, через индикаторные трубки происходит изменение окраски индикаторного порошка. Длина окрашенного столбика пропорциональна концентрации исследуемого вещества.

ГХ-М состоит из сильфонного мехового аспиратора АМ-5 (рис. 5) и набора индикаторных трубок, каждая из которых предназначена для определения концентрации одного из газов.

Внутри аспиратора имеются пружины, удерживающие его в сжатом положении; под всасывающим штуцером, в мундштуке, расположена защитная сетка для предотвращения попадания осколков стекла от индикаторных трубок или шихты внутрь аспиратора.

Аспиратор должен удовлетворять следующим условиям: объем воздуха, просасываемого за один полный ход –  $100 \pm 5$  мл; время просасывания 100 мл воздуха через контрольное сопротивление  $125 \pm 5$  мм рт. ст. при скорости 1 л/мин (такое сопротивление имеет индикаторная трубка на монооксид углерода) –  $8 \div 9$  с; время раскрытия меха без трубки –  $1 \div 2$  с.

Индикаторные трубки – это стеклянные трубки длиной 125 мм и наружным диаметром 7 мм, запаенные с обоих концов. Трубки заполнены адсорбентом белого цвета, обработанным реактивами, изменяющими окраску в присутствии того или иного газа.

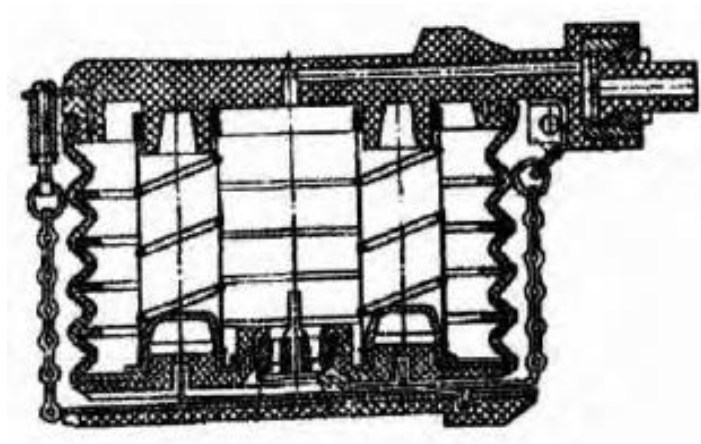


Рис. 5. Меховой аспиратор АМ-5

На поверхности трубок нанесены: химическая формула определяемого газа, шкала, имеющая маркировочные кольца, цифры и штрихи, отвечающие определенным значениям концентрации определяемых газов, стрелка, указывающая направление движения просасываемого воздуха.

На одном конце трубки имеется покрашенная полоса для нанесения необходимых отметок и надписей.

Индикаторные трубки упаковываются в картонные коробки по 24 шт., а трубки для определения кислорода – по 10 шт. На коробках отпечатаны формулы определяемых газов, шкала для измерения концентраций и краткие правила анализа.

Погрешность определения концентрации  $\pm 25\%$  от значения показаний (относительная погрешность) в интервале температур от 0 до +35 °С при определении СО, от +5 до +35 °С – при определении остальных газов. Объем пробы исследуемого газа составляет 100+1000 мл.

Гарантийный срок действия трубок: на СО – 36 мес.; O<sub>2</sub> и СО<sub>2</sub> – 24 мес.; на H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> и оксиды азота – 12 мес.

Техническая характеристика газоопределителя представлена ниже.

#### Техническая характеристика ГХ-М

Пределы измеряемых концентраций, % (об.):	
окси углерода (СО)	От 0 до 0,2 (0-5)
сернистого газа (–)	От 0 до 0,007
сероводорода (H <sub>2</sub> S)	От 0 до 0,0068
окислов азота (NO, NO <sub>2</sub> )	От 0 до 0,005
углекислого газа (СО <sub>2</sub> )	От 0 до 2(0-15), (0-50)
кислорода (O <sub>2</sub> )	От 0 до 21
Масса прибора а комплекте (АМ-5, 9 коробок индикаторных трубок), кг	1,5
Масса аспиратора с одной коробкой индикаторных трубок, кг	0,42

В выработке, где необходимо замерить содержание одного из указанных газов, вскрывают трубку-анализатор. Для этого легким нажатием в проушине мехового аспиратора отламывают оба ее конца, следя за тем, чтобы не нарушить прокладку и слой порошка, затем трубку плотно

вставляют в мундштук (в резиновую трубку) так, чтобы стрелка показала направление к аспиратору. Прибор сжимают рукой до упора, а затем отпускают. Конец всасывания определяется по натяжению дистанционных ремешков. При этом через индикаторную трубку протягивается 100 мл воздуха. После полного расправления меха делается пауза 3 – 4 с, затем производится следующее сжатие меха и т. д. Десять сжатий аспиратора обеспечивают протягивание 1 л воздуха.

Замеры каждого из газов имеют свои особенности. Замер СО производится в следующем порядке: исследуемый воздух протягивают через индикаторную трубку сначала одним ходом аспиратора и рассматривают ее. Если зеленая окраска достигла деления с цифрой 1 или превысила его, трубку прикладывают к шкале на коробке таким образом, чтобы начало окрашенного столбика реактивного порошка совпало с нулевым делением шкалы. Длина окрашенного столбика укажет на левой шкале (для 100 мл пробы) концентрацию СО. Высотой окрашенного столбика считается зона, где зерна порошка окрашены по всей окружности. При больших концентрациях СО индикаторный порошок в начале шкалы может иметь коричневую или бурую окраску. Если после одного хода сиффона окраска не появилась или не достигла деления с цифрой 1, делают еще девять сжатий (всего десять сжатий), трубку прикладывают к шкале и снимают показания (для 1000 мл).

После каждого замера необходимо удалять из аспиратора поступающий из трубки газ (пары серной кислоты), для чего делается несколько сжатий сиффона без трубки.

Индикаторная трубка-анализатор при наличии в воздухе СО используется 1 раз. Если в воздухе окись углерода отсутствует, и реактивная масса не изменила окраску, трубку можно использовать до 3 раз в тот же день. Окраска сохраняется 2-3 дня при условии герметизации трубки (закрывать концы резиновой трубкой с заглушками).

При определении концентрации других газов делают десять сжатий аспиратора, выдерживая после каждого расправления сильфона паузу в 3 – 4 с. Далее трубку прикладывают к шкале и снимают Показания. При замере  $\text{H}_2\text{S}$  и оксидов азота показания снимают сразу же после протягивания через трубку 1 л воздуха, а при замере концентрации  $\text{SO}_2$  – спустя 2 мин.

В том случае, если реактивный слой окрашивается на всю высоту при количестве ходов аспиратора меньше десяти (при больших концентрациях газов), значение концентрации  $X$  может быть определено приблизительно по формуле

$$x = \frac{10 \cdot C}{\Pi}$$

где  $C$  – концентрация газа, замеренная по трубке, % (об.);

$\Pi$  – количество ходов меха, шт.

Определение  $\text{O}_2$  производится следующим образом. В месте измерения концентрации  $\text{O}_2$  аспиратором делают два-три холостых хода для продувки клапана. Затем вынимают из футляра трубку и отламывают один ее конец вблизи цифры «25». Отломанным концом трубку быстро вставляют в гнездо аспиратора, а второй ее конец отламывают с помощью специального приспособления, но так, чтобы не нарушить положения фильтра-прокладки и слоя порошка. Далее быстро сжимают сильфон до упора и просасывают 100 мл исследуемого воздуха через трубку. Сразу же после полного раскрытия сильфона аспиратора определяют концентрацию  $\text{O}_2$  по размещению границы, изменившего окраску слоя реагента в диапазоне градуированной шкалы трубки. Полученный результат умножается на коэффициент  $K$ , учитывающий барометрическое давление  $I$  месте замера. Значение коэффициента  $K$  приведено в табл. 3.

Таблица 3

Значение коэффициента  $K$

Р, мм	720	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820
рт. ст											

К	1,02	1,01	1,00	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90
---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

*Мультигазоанализатор* MX-2000 (рис. 6) представляет собой автономный портативный прибор, предназначенный для непрерывного измерения концентраций взрывчатых и токсичных газов, а также концентрации  $O_2$ . Он позволяет одновременно определять в атмосфере 2, 3 и 4 компонента, а в случае превышения ПДК – выдавать предупредительную и аварийную сигнализацию.

MX-2000 имеет четыре измерительных канала для замера концентрации  $CH_4$ ,  $O_2$ ,  $CO$  и др. токсичных газов при установке соответствующего датчика (на  $H_2S$ ,  $NO$ ,  $SO_2$ ).

Газоанализатор обеспечивает: вывод на алфавитно-цифровой дисплей поочередно по каждому каналу символ газа и текущее значение его концентрации; автоматическую или ручную установку нуля; самотестирование после включения и аварийную световую и звуковую сигнализацию при обнаружении неисправных элементов газоанализатора; световую и звуковую сигнализацию включенного состояния газоанализатора; аварийную световую и звуковую сигнализацию при превышении установленных пороговых значений мгновенного содержания компонента, а также при разряде аккумуляторной батареи.

Принцип действия газоанализатора смешанный: для канала горючих газов – термохимический, для канала кислорода и токсичных газов – электрохимический.

Способ отбора пробы – диффузионный.

Чувствительными элементами газоанализатора являются электрохимические ячейки для измерения содержания кислорода и токсичных газов и термохимическая ячейка – для измерения содержания горючих газов.

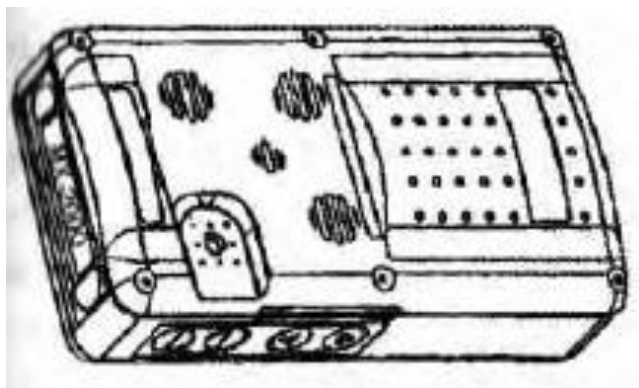


Рис. 6. Мультигазоанализатор MX-2000

MX-2000 имеет встроенный микропроцессор, позволяющий легко устанавливать пороговые значения срабатывания сигнализации, проводить калибровку газоанализатора и самодиагностику, осуществлять сигнализацию о неисправности газоанализатора (неисправности датчиков, разрядку батареи питания и т. п.).

Диапазоны измерений концентрации газов MX-2000 указаны в табл.4.

Таблица 4

Диапазоны измеряемых концентраций газа газоанализатором MX-2000

Определяемый компонент	Диапазоны измерений
O <sub>2</sub>	5-30 % об.
CO	20 50ppm
CH <sub>4</sub>	0,5 % об.
H <sub>2</sub> S	0 100 ppm
SO <sub>2</sub>	0 30 ppm
NO	10 150 ppm

*Малогабаритный переносной метанометр-сигнализатор термохимический* МСТ (рис. 7) предназначен для непрерывного контроля содержания CH<sub>4</sub> в атмосфере горных выработок шахт и рудников, в том числе опасных по газу, пыли и внезапным выбросам.

Метанометр может эксплуатироваться в следующих условиях: наличие угольной пыли не более  $1 \text{ г/м}^3$ ; изменение пространственного положения (угол наклона от вертикального положения) не более  $90^\circ$ .

Действие прибора основано на измерений сигнала термохимического датчика при беспламенном каталитическом горении на нем  $\text{CH}_4$ . В приборе используется схема периодической подачи напряжения на датчик с периодом 7 с.

Техническая характеристика метанометра сигнализатора представлена ниже.

Подготовка МСТ к работе. Включить метанометр. При включении возникает звуковой сигнал, который исчезнет через 1-2 с. Через 1 минуту можно приступать к работе с прибором.

При превышении пороговой концентрации  $\text{CH}_4$  срабатывает прерывистая звуковая и световая сигнализация.



Рис. 7. Внешний вид прибора МСТ



### Техническая характеристика МСТ

Диапазон измерения концентрации метана, % (об.)	0,5
Предел основной погрешности измерения: в поддиапазоне 0,2, 5 % CH <sub>4</sub> в поддиапазоне 2,5 5 % CH <sub>4</sub>	-0,2 не нормируется
Порог срабатывания аварийной звуковой и световой сигнализации об опасном скоплении CH <sub>4</sub> , % (об.)	2,0
Погрешность срабатывания аварийной сигнализации об опасном скоплении CH <sub>4</sub> , % (об.)	- 0,1
Время готовности после включения, мин	1

### 3. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОСТАВА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Нормирование выхлопных газов карбюраторных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) производится по концентрации оксида углерода (II) и углеводородов на фиксированных режимах работы двигателя (табл. 7.5). Качество работы технического состояния дизельных двигателей оценивается по дымности отработавших газов (табл. 6) и удельным выбросам оксидов азота, оксида углерода (II) и углеводородов (табл.7).

Таблица 5

Содержание оксида углерода (II) и углеводородов в отработавших газах автомобилей с карбюраторным двигателем (извлечения из ГОСТ Р 52033-2003)

Автомобили с бензиновым двигателем	Минимальная частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>	Оксид углерода (II), % (об.)	Углеводороды, млн <sup>-1</sup> (ppm)

Автомобили, не оснащенные системами нейтрализации отработавших газов	1100	3,5	1200
Автомобили категорий М1 и N1, оборудованные двухкомпонентной системой нейтрализации отработавших газов	2500 350 0	1,0	400

Таблица 6

Нормы дымности отработавших газов дизельных двигателей  
(извлечение из ГОСТ 17.2.2.02-98)

Условный расход воздуха, $\text{дм}^3/\text{с}$	Дымность, $\text{м}^{-1}$ (%), не более, при воздухообмене	
	неограниченном	ограниченном
42 и менее	2,260 (62,2)	1,760 (53,1)
50	2,080 (59,1)	1,580 (49,3)
60	1,900 (55,8)	1,400 (45,2)
70	1,775 (53,4)	1,275 (42,2)
80	1,665 (51,1)	1,165 (39,4)
90	1,575 (49,2)	1,075 (37,0)
100	1,495 (47,4)	0,995 (34,8)
110	1,425 (45,8)	0,925 (32,8)
120	1,370 (44,5)	0,870 (31,2)
130	1,320 (43,3)	0,820 (29,7)
140	1,270 (42,1)	0,770 (28,2)
150	1,225 (40,9)	0,725 (26,8)

Значения удельных выбросов отработавших газов дизельных  
двигателей (извлечения из ГОСТ 17.2.2.05-97)

Наименование вредных веществ	Удельные выбросы, г/(кВт·ч), при воздухообмене	
	неограниченном	ограниченном
Оксиды азота	18,0	9,0
Оксид углерода (II)	10,0	4,0
Углеводороды	3,0	1,5

*Примечания:* 1. Нормы выбросов оксидов азота установлены по сумме оксидов азота, приведенных к оксиду азота (IV). 2. Нормы выбросов углеводородов установлены по сумме углеводородов, приведенных к условному составу  $C_1H_{1,85}$ .

*Газоанализатор* ГАИ-1 АПИ2.840.024 (далее газоанализатор) переносной предназначен для автоматического определения содержания СО в отработавших газах карбюраторных автомобильных двигателей (рис. 8).

Газоанализатор может быть использован на станциях технического обслуживания, в автохозяйствах, гаражах органами ГИБДД МВД России при контроле за техническим состоянием карбюраторных двигателей.

Принцип работы прибора основан на явлении поглощения инфракрасной (ИК) энергии излучения анализируемым компонентом. Степень поглощения ИК-излучения зависит от концентрации анализируемого компонента в газовой смеси.

Газоанализатор предназначен для работы в следующих условиях эксплуатации:

- ♦ расход анализируемой смеси, обеспечиваемый побудителем не менее 0,037 л/с;
- ♦ температура анализируемой смеси до +200 °С;
- ♦ измеряемый компонент – оксид углерода (II) 0 – 15 % (об.).

Диапазон измерения концентрации СО от 0 до 5 % (об.) и от 0 до 10 % (об.). Основная приведенная погрешность не превышает  $\pm 5\%$  от верхнего предела измерения.

Питание газоанализатора:

◆ для исполнения АПИ2.840.024 – от сети автомобиля с постоянным напряжением  $12\text{ В} \pm 10\%$ ;

◆ для исполнения АПИ2.840.024-01 – от сети переменного тока напряжением  $220\text{ В} \pm 10+15\%$  через стабилизированный источник питания.

Время прогрева газоанализатора 30 мин. Превышение статического давления анализируемой газовой смеси над атмосферным (в точке отбора пробы)  $505 \pm 141,4\text{ Па}$ .

Оценка результата производится визуально по шкале стрелочного прибора.

На рис. 8 представлена схема газоанализатора ГАИ-1.

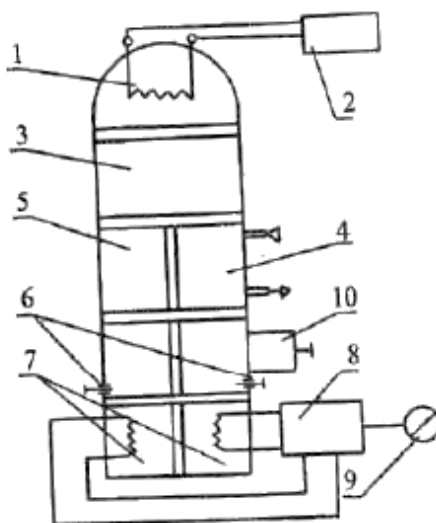


Рис. 6. Оптический абсорбционный газоанализатор ГАИ-1:

1 - излучатель; 2 - устройство ре изменения температуры излучателя;  
3 - фильтровая камера; 4 - рабочая камера; 5 - сравнительная камера; 6 -  
устройство для балансировки оптического потока; 7 - приемник излучения; 8 -  
электронный блок; 9 - показывающий прибор; 10 - реперное устройство

Газоанализатор состоит из источника излучения 1, устройства 2, с помощью которого периодически изменяется поток излучения, фильтровой

камеры 3, рабочей камеры 4, сравнительной камеры 5, устройства для балансировки оптического потока 6, приемника излучения 7 (мерной камеры), электронного блока 8 и показывающего прибора 9.

Поток ИК-излучения проходит через фильтровую камеру и попадает в рабочую и сравнительную камеры. ИК-излучение проходит рабочую и сравнительную камеры и попадает в приемник излучения. Все камеры разделены друг от друга стеклами, прозрачными для ИК-излучения.

Приемник излучения 7 представляет собой герметичный объем, заполненный компонентом, содержание которого требуется определить. Приемник излучения разделен внутри негерметичной перегородкой на две половины, каждая из которых расположена под рабочей и сравнительной камерой соответственно. В каждой из половин приемной камеры расположены термочувствительные элементы, служащие для измерения температуры газа.

Изменяющийся, модулированный поток излучения попадает в приемную камеру, поглощается анализируемым компонентом. При этом происходит изменение температуры в приемной камере в обеих половинах.

Если через рабочую камеру пропускать газ, не поглощающий ИК-излучение, и при этом сравнительная камера также заполнена газом, не поглощающим ИК-излучение, то в обеих частях приемной камеры создаются одинаковые мощности ИК-излучения; температура в обеих половинах приемной камеры изменяется одинаково и сигнал на выходе электронного блока равен нулю.

Если в рабочую камеру подавать анализируемую смесь, в которой содержится определяемый компонент, то в приемную камеру поступает ослабленный поток ИК-излучения. В результате амплитуда колебаний температуры в половине приемной камеры, расположенной против рабочей камеры, уменьшается пропорционально концентрации определяемого компонента и соответственно изменяется показание показывающего прибора газоанализатора.

*Дымомер переносной «СМОГ-1»* – (далее дымомер) предназначен для инспекционного контроля дымности отработавших газов дизельных двигателей автомобилей с целью оценки качества работы их систем выпуска, питания топливом и смазки.

Измерения могут проводиться в режимах свободного ускорения и максимальной частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Условия эксплуатации дымомера:

- ◆ температура окружающего воздуха от  $-10$  до  $+45$  °С;
- ◆ атмосферное давление от 70 до 106,7 кПа;
- ◆ относительная влажность от 30 до 98 %.

Диапазон измерений дымомера:

- ◆ по шкале показателя ослабления светового потока  $K$  – от 0 до 10  $\text{м}^{-1}$ ;
- ◆ по шкале затемнения – от 0 до 100 %.

Показания дымомера по шкале ослабления приведены к 100 °С.

Индикация показаний дымомера – цифровая, трехразрядная. Единица младшего разряда для шкалы показателя ослабления –  $0,02 \text{ м}^{-1}$ , для шкалы затемнения – 0,1 %.

Предел допускаемой основной приведенной погрешности  $Y_9$  на шкале затемнения равен  $\pm 2\%$ .

Время непрерывной работы дымомера 8 ч.

Дымомер обеспечивает цифровую индикацию температуры отработавших газов в диапазоне от 0 до 200 °С.

Время готовности дымомера к работе после включения не более 10 мин.

В состав дымомера входят камера измерительная и блок обработки информации. При питании дымомера переменным однофазным током используется блок питания.

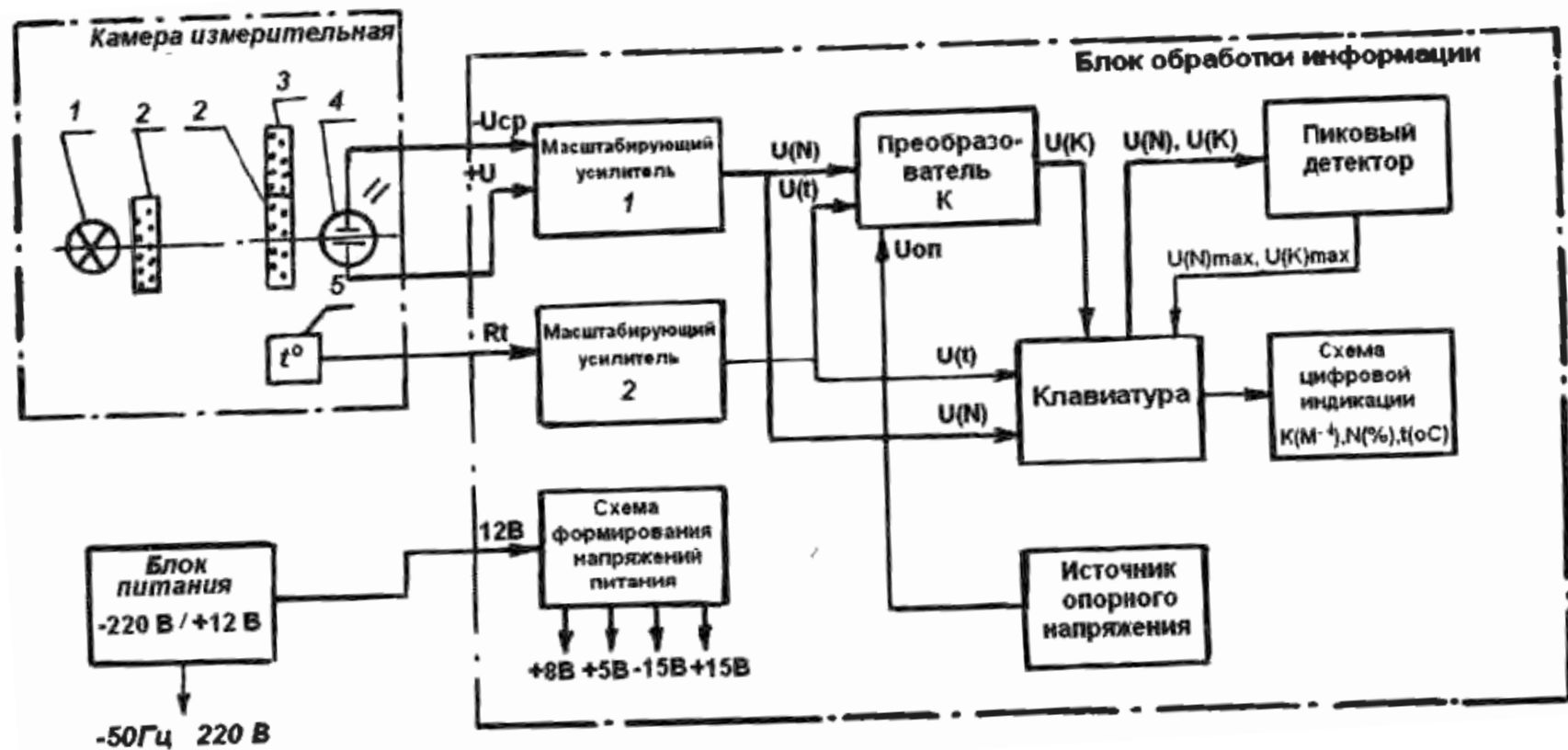


Рис.9. Функциональная схема дымомера:

лампа; 2 - защитное стекло; 3 - контрольный светофильтр; 4 - фотозаэлемент; 5 - термопреобразователь сопротивления

Принцип действия дымомера основан на явлении изменения поглощения (ослабления) части светового потока, прошедшего через вещество, при просвечивании его источником излучения.

Работа дымомера поясняется при помощи функциональной схемы, приведенной на рис. 9, и осуществляется следующим образом.

Дым из выхлопной трубы автомобиля поступает в оптический канал измерительной камеры, оборудованный источником излучения (лампа 1) и приемником (фотоэлемент 4). Поток света от лампы проходит через столб дыма и падает на фотоэлемент, который воспринимает непоглощенную часть света. Для защиты лампы и фотоэлемента от загрязнения установлены защитные стекла 2. При проверке работоспособного состояния дымомера вместо защитного стекла со стороны фотоэлемента устанавливается контрольный светофильтр 3. Датчик температуры (термопреобразователь сопротивления 5) предназначен для измерения температуры дыма в измерительной камере с целью введения температурной поправки.

Сигнал с фотоэлемента поступает в блок обработки информации на масштабирующий усилитель 1 (микросхема D3), сигнал с датчика температуры – на масштабирующий усилитель 2 (микросхема D15). Сигналы на выходе масштабирующих усилителей соответствуют величине затемнения и температуре дыма в измерительной камере. Далее сигналы поступают на вход преобразователя К, выполненного на микросхемах D6, D9 ... D11, D13, D16, D17 и транзисторах U4 ... U9. Сигнал на выходе преобразователя К соответствует величине показателя ослабления.

Конструктивно дымомер выполнен в виде отдельных блоков. Внешний вид дымомера представлен на рис. 10.



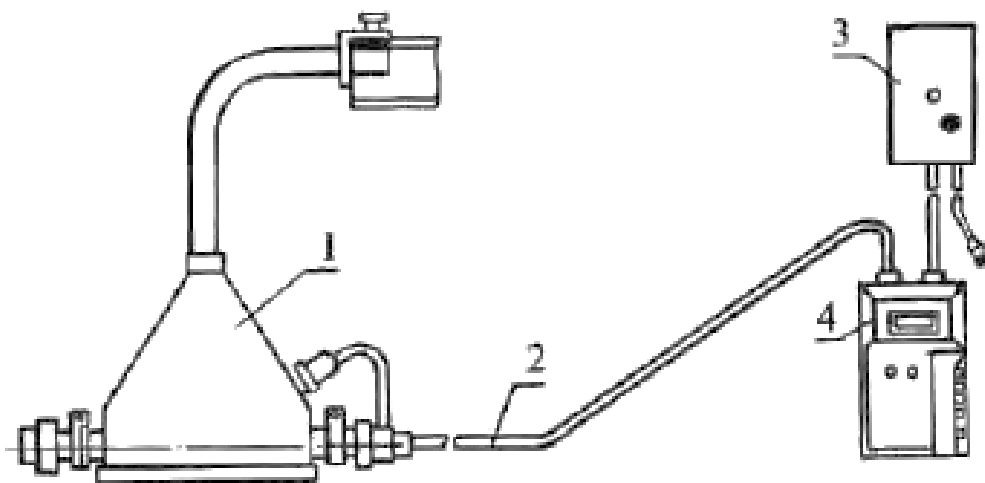


Рис. 10. Внешний вид дымомера:

- 1 - камера измерительная; 2- жгут ИБЯЛ.605621 053; 3 - блок питания;  
4 - блок обработки информации

Камера измерительная состоит из металлических корпуса и трубы. По обе стороны корпуса на оптической оси расположены источники света, лампы накаливания, фотозаэлемент и отсеки для установки рамок с защитными стеклами. При работе камера измерительная прикрепляется к выхлопной трубе автомобиля при помощи зажима и винта, установленных на трубе камеры.

Камера измерительная соединяется с блоком обработки информации при помощи жгута ИБЯЛ.685621.053, имеющегося в комплекте ЗИП, длиной 7 м.

На лицевой стороне блока питания расположен переключатель «СЕТЬ» для включения блока.

На лицевой стороне блока обработки информации расположены: цифровое табло для индикации величин затемнения в процентах, показателя ослабления в единицах натурального показателя ослабления по правилам 24ЕЭК ООН, температуры дыма в °С; потенциометры «0» для установки нулевых показаний и «V» для регулировки коэффициента усиления. Значение

затемнения N, приведенное к фотометрической базе 0,43 м, определяется по таблице на корпусе блока.

На боковой стороне блока обработки информации расположены переключатели: «К/И» – для вывода на цифровое табло величин показателя ослабления K (переключатель отжат) либо затемнения И (переключатель нажат); «ПИК» – для измерения и вывода на цифровое табло максимальных значений величин показателя ослабления и затемнения; «СБРОС» – для сбросов пиковых значений показаний перед проведением следующего измерения; «t, °C» – для вывода на цифровое табло значения температуры в измерительной камере; «ВКЛ» – для включения блока.

#### **4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОСТАВА ВОЗДУХА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ХИМИЧЕСКИХ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ, АВТОТРАНСПОРТНЫХ, МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Анализируя гигиенические нормативы содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений (табл. 1.2 ГН 2.25.1313-03), можно сделать вывод о том, что концентрации этих веществ чрезвычайно малы. Это обстоятельство предполагает использование для определения концентрации вредных веществ весьма чувствительных методов анализа.

Так же как и для анализа воздуха в горных выработках, в санитарно-гигиенической практике оценки состояния воздушной среды в рабочей зоне производственных помещений используются лабораторные и экспресс-методы анализа. Первые применяются преимущественно для инспекционных целей органами Роспотребнадзора, вторые – для оперативной оценки производственной ситуации. Наиболее распространенным методом лабораторного анализа многокомпонентных газо-, паровоздушных смесей является газовая хроматография. Принцип газохроматографического анализа заключается в покомпонентном распределении движущейся по слою

адсорбента (в хроматографической колонке) анализируемой смеси. При последующем движении через адсорбент чистого газа-носителя (например, гелия) происходит поочередное «вымывание» адсорбированных компонентов анализируемой смеси. Выходящие из колонки «чистые» компонентные смеси определяются качественно и количественно детекторами различных типов (катарометром, пламенно-ионизационным, электронного захвата и др.). Данный метод позволяет в одной пробе воздуха определить все содержащиеся в нем вредные вещества с достаточной точностью, однако для осуществления его требуется много времени, дорогостоящая аппаратура и высококвалифицированный персонал.

В силу указанных обстоятельств метод газовой хроматографии для оперативных целей практически не используется.

Для быстрой оценки рассматриваемой санитарно-гигиенической ситуации и принятия оперативных мер защиты от воздействия вредных веществ преобладающими являются экспресс-методы анализа воздуха рабочей зоны. Одним из самых распространенных из этой группы методов является линейно-колориметрический, описанный выше, однако высокая погрешность его, часто не удовлетворяющая требованиям ГН 2.25.1313-03, ограничивает его применение для инспекционных, а иногда (для веществ с малыми ПДК, например, озона) и оперативных целей.

Важным условием экспресс-анализа воздуха рабочей зоны является его непрерывность во времени, возможность сопряжения с системами сигнализации, оповещения и автоматического включения в работу средств коллективной защиты, например, аварийной вентиляции, а также синхронность полученных результатов с конкретной санитарно-гигиенической ситуацией.

В настоящее время разработаны и широко применяются на промышленных предприятиях газоанализаторы различных типов. В современных газоанализаторах широко используются достижения физической химии, микроэлектроники, информатики и др. научных

дисциплин. Данное обстоятельство позволяет полностью автоматизировать работу приборов, повысить их чувствительность, обеспечить сбор базы данных за любой период работы, сопряженность с ЭВМ (например, с персональными компьютерами), увеличить многокомпонентность анализа единичного газоанализатора и др. достоинства. Единственным, пожалуй, недостатком такой газоаналитической аппаратуры является высокая стоимость, ограничивающая их широкое применение в России.

На данный момент времени в РФ различными фирмами серийно производятся, например, следующие газоанализаторы: «Каскад» – для анализа воздуха на содержание следующих ингредиентов (далее после названия прибора в скобках будут указываться только определяемые ингредиенты) ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ); «Грант» ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ); «АНКАТ- 7664М-09» ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ); «Комета (ИГС-98)» ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{H}_2\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$  (сумма углеводородов),  $\text{HClCO}_2$ ); «ОПТОГАЗ-500» ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}$ ) и др.

В работе перечисленных газоанализаторов используются различные принципы определения газовых компонентов, основанные на химических, физических и физико-химических явлениях (измерение коэффициента преломления света, экзотермические реакции, изменение цвета и интенсивности окраски анализируемой смеси, изменение теплопроводности, селективная адсорбция и абсорбция, изменение электропроводности анализируемых систем и многие др.).

Например, в газоанализаторе «Комета-4» серии ИГС-98 при определении концентрации  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , и  $\text{CO}$  используется принцип амперометрического титрования, при котором электрохимический сенсор преобразует значение концентрации соответствующего газа в воздухе в электрический сигнал, величина которого пропорциональна концентрации ингредиента. Принцип действия этого же прибора при анализе воздуха на содержание углеводородов основан на изменении сопротивления

полупроводникового сенсора в зависимости от количества адсорбируемого на нём газообразного ингредиента.

Кроме отечественных приборов, в России применяются и зарубежные газоанализаторы фирм (Брюль и Кьер, 01ЛЭНАМ 8А и др.).

В современной газоаналитической аппаратуре результаты анализа могут представляться в различных единицах концентрации ингредиента в воздухе рабочей зоны, поэтому часто на практике возникают затруднения при сравнении этих величин с ПДК<sub>рз</sub>, которые в России измеряются в мг/м<sup>3</sup>.

Ниже приведены формулы для пересчета других единиц измерения концентрации газов в воздухе в мг/м<sup>3</sup>:

$$1) \quad \text{из \% (об.) в мг/м}^3: C = \frac{C_{\% \text{ об.}} \cdot M \cdot P}{0,8313 \cdot T}; \quad (7.1)$$

$$2) \quad \text{из ppm в мг/м}^3: C = \frac{C_{\text{ppm}} \cdot M \cdot P}{0,8313 \cdot 10^4 \cdot T}; \quad (7.2)$$

$$3) \quad \text{ppbv в мг/м}^3: C = \frac{C_{\text{ppbv}} \cdot M \cdot P}{0,8313 \cdot 10^7 \cdot T}; \quad (7.3)$$

где  $C_{\% \text{ об.}}$ ,  $C_{\text{ppm}}$ ,  $C_{\text{ppbv}}$  – концентрации определяемых веществ, выраженных соответственно в % (об.), ppm (одна миллионная часть объема), ppbv (одна биллионная часть объема);  $M$  – молярная масса вещества, а.е.м.;  $P$  – атмосферное давление в момент анализа, Па;  $T$  – абсолютная температура в момент анализа, К.

## 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При выполнении экспериментальной части работы студенты должны:

- ◆ изучить устройство и принцип действия газоанализаторов;
- ◆ каждой бригаде получить у преподавателя действующие газоанализаторы, произвести их проверку, настройку и подготовку к работе;
- ◆ по заданию преподавателя произвести измерения концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  в определенном поперечном сечении и по высоте модели;

♦ построить графики изменения концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  по высоте модели;

♦ выполнить описание графиков, провести их анализ и сделать выводы о причинах полученного характера распределения газов и соответствия измеренных концентраций ПДК.

При этом концентрация газов измеряется в вытяжном шкафу и делается оценка соответствия её допустимым гигиеническим нормам.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите состав атмосферного воздуха.
2. Назовите наиболее часто встречающиеся вредные и токсичные примеси к воздуху рабочей зоны.
3. Взрывоопасные свойства газов и паров.
4. Методы контроля состава воздуха в рабочей зоне производственных помещений и горных выработках.
5. Приборы для определения  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  в горных выработках.
6. Какими газоанализаторами можно определить концентрацию кислорода в воздухе?
7. Наиболее распространенные приборы для определения концентрации токсичных газов в воздухе. Принципы их действия.
8. Принцип действия газоанализаторов ШИ-6, ШИ-10, ШИ-11.
9. Проверка и настройка ШИ-10.
10. Порядок проведения измерений  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  ШИ-10.
11. Порядок проведения измерений приборами ГХ-5, ГХ-6.
12. Приборы для контроля состава выхлопных газов ДВС.
13. Требования к составу выхлопных газов карбюраторных ДВС.
14. Требования к составу выхлопных газов дизельных ДВС.

## **Лабораторная работа 2**

### **ИЗУЧЕНИЕ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

**Цель работы:** Изучить принципы нормирования ионизирующих излучений, приборы и методы дозиметрического контроля, научиться проводить измерения уровня радиации и оценку радиационной опасности.

**Содержание работы:** 1. Изучить методику контроля уровня радиации и степени радиоактивного заражения различных предметов по гамма-излучению с помощью измерителей мощности дозы ДП-5В, ИМД-5.

2. Изучить методику измерения экспозиционной и поглощенной доз гамма-излучения с помощью индивидуальных дозиметров ИД-1, ДКП-50А.

3. Изучить методику контроля радиационной обстановки на местности по гамма-излучению и оценки загрязненности бета-гамма-излучающими нуклидами различных поверхностей, проб воды, продуктов питания и других объектов с помощью дозиметра-радиометра ИРД-02Б1.

4. Провести измерения дозовых характеристик с помощью имеющихся приборов.

5. Дать оценку измеренных дозовых характеристик ионизирующего излучения.

6. Составить отчет по лабораторной работе.

#### **1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ И ПОНЯТИЯ**

*Ионизирующее излучение* – излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков. Видимый свет и ультрафиолетовое излучение принято не включать в понятие «ионизирующее излучение». При этом различают фотонное и корпускулярное ионизирующие излучения.

К *фотонному ионизирующему излучению* относятся: *гамма-излучение*, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер или при аннигиляции частиц; *тормозное излучение*, возникающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц; *характеристическое излучение*, возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома. На практике часто используется рентгеновское излучение, состоящее из тормозного и (или) характеристического излучений.

К *корпускулярному излучению*, состоящему из частиц с массой, отличной от нуля, относятся, например, *альфа-излучение*, *электронное*, *протонное*, *нейтронное*.

*Гамма-излучение* имеет внутриядерное происхождение. Гамма-излучение представляет собой жесткое (большой энергии) электро-магнитное излучение, распространяющееся со скоростью света.

*Рентгеновское излучение*, являющееся потоком электромагнитных колебаний, отличается от гамма-излучения условиями образования (не имеет внутриядерного происхождения), а также своими свойствами (длиной волны или энергией).

Эти излучения называются проникающими, поскольку незначительно ослабляются при прохождении через вещество.

*Альфа-излучение*. В результате альфа-распада радиоактивного изотопа образуется поток альфа-частиц, т. е. ядер атомов гелия.

Проникающая способность  $\alpha$ -частиц, испускаемых известными в настоящее время радионуклидами, достигает 8-9 см в воздухе, а в мягкой биологической ткани – нескольких десятков микрон.

*Бета-излучение* представляет собой бета-частицы (отрицательно заряженные электроны или положительно заряженные позитроны), движущиеся с большой скоростью, приближающейся к скорости света.

Проникающая способность  $\beta$ -частиц в воздухе составляет 22 см, пробег в мягкой биологической ткани достигает от 0,02 до 1,9 см.



*Нейтронное излучение.* При делении тяжелых ядер или при некоторых типах взаимодействия различных видов излучения с веществом возникают нейтроны – электрически нейтральные частицы.

Нейтроны, представляющие собой поток незаряженных частиц, при прохождении через вещество взаимодействуют только с ядрами атомов, поэтому обладают существенной проникающей способностью.

### ***Дозовые характеристики поля излучения***

Характеристики излучения, в первую очередь, регламентируются активностью радионуклидов в источнике, т. е. уровнем самопроизвольных ядерных превращений радиоактивного распада.

*Активность радионуклида в источнике (образце) А* – отношение числа  $dN$  спонтанных ядерных превращений, происходящих в источнике (образце) за интервал времени  $\Delta t$ , к этому интервалу:

$$A = dN/dt.$$

Единица активности радионуклида в системе СИ – *беккерель* (Бк). Беккерель равен активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за время 1 с происходит один спонтанный распад.

Внесистемная единица активности – *кюри* (Ки) (табл. 1).

Для оценки поля фотонного излучения при использовании внесистемных единиц применяют понятие «экспозиционная доза».

*Экспозиционная доза X* – это количественная характеристика фотонного излучения, которая основана на его ионизирующем действии в сухом атмосферном воздухе и представляет собой отношение суммарного заряда  $dQ$  всех ионов одного знака, созданных в воздухе, к массе воздуха в объеме  $dm$ :

$$X = dQ/dm.$$

Единица экспозиционной дозы в системе СИ – *кулон на килограмм* (Кл/кг).

Внесистемная единица экспозиционной дозы – *рентген* (Р) (табл. 2).

Основной физической величиной, определяющей степень радиационного воздействия, является поглощенная доза ионизирующего излучения.

Поглощенная доза ионизирующего излучения  $D$  - отношение средней энергии  $d\bar{W}$ , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе  $dm$  вещества в этом объеме:

$$D = \frac{d\bar{W}}{dm}$$

ГОСТ допускает вместо термина «поглощенная доза излучения» использовать краткую форму «доза излучения».

Единица поглощенной дозы в системе СИ – грей (Гр). Грей равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж.

Внесистемной единицей поглощенной дозы ионизирующего излучения является рад (рад) (см. табл. 1).

Таблица 1

**Соотношения между единицами СИ и внесистемными единицами в области ионизирующих излучений**

Величина и её обозначение	Названия и обозначения единиц		Связь с единицей СИ
	Единица СИ	Внесистемная единица	
Активность $A$	Беккерель (Бк)	Кюри (Ки)	1 Ки = $3,700 \cdot 10^{10}$ Бк
Концентрация (объемная активность) радионуклида в атмосферном воздухе или воде $A_v$	Беккерель на кубический метр (Бк/м <sup>3</sup> )	Кюри на литр (Ки/л)	1 Ки/л = $3,700 \cdot 10^{13}$ Бк/м <sup>3</sup>
	Беккерель на литр (Бк/л)	Кюри на литр (Ки/л)	1 Ки/л = $3,700 \cdot 10^{10}$ Бк/л
Поглощенная	Грей (Гр)	Рад (рад)	1 рад = 0,01 Гр

доза D			
Мощность поглощенной дозы D	Грей в секунду (Гр/с)	Рад в секунду (рад/с)	1 рад/с = 0,01 Гр/с
Эквивалентная доза H	Зиверт(Зв)	Бэр (бэр)	1 бэр = 0,01 Зв
Мощность эквивалентной дозы H	Зиверт в секунду (Зв/с)	Бэр в секунду (бэр/с)	1 бэр/с = 0,01 Зв/с
Экспозиционная доза X	Кулон на килограмм (Кл/кг)	Рентген (Р)	1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
Мощность экспозиционной дозы X	Ампер на килограмм (А/кг)	Рентген в секунду (Р/с)	1 Р/с = $2,58 \cdot 10^{-4}$ А/кг

В задачах радиационной безопасности при хроническом облучении человека в малых дозах (в дозах, не превышающих пяти предельно допустимых годовых доз при облучении всего тела человека) основной величиной для оценки биологического действия излучения любого состава является эквивалентная доза.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения  $H$  – произведение поглощенной дозы  $D$  на средний коэффициент качества излучения  $\bar{k}$  в данном объеме биологической ткани стандартного состава:

$$H = \bar{k}D,$$

где  $\bar{k}$  – средний коэффициент качества (табл. 2);

Таблица 2

**Рекомендуемые значения  $\bar{k}$  для излучений различных видов с неизвестным энергетическим составом**

Вид излучения	$\bar{k}$
Рентгеновское и $\gamma$ -излучение, электроны, позитроны, $\beta$ -излучение	1
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1-10 МэВ	10
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10

$\alpha$ -излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Тяжелые ядра отдачи	20

*Коэффициент качества* представляет собой регламентированное значение неблагоприятных биологических последствий облучения человека в малых дозах.

Единица эквивалентной дозы в системе СИ – зиверт (Зв).

Зиверт – единица эквивалентной дозы любого вида Излучения в биологической ткани, которое создает такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Гр рентгеновского или  $\gamma$ -излучения.

Внесистемная единица эквивалентной дозы – бэр (*биологический эквивалент рад*) (см. табл. 1).

*Мощность поглощенной дозы D (мощность экспозиционной дозы X, мощность эквивалентной дозы H)* – отношение приращения поглощенной дозы  $dD$  (экспозиционной дозы  $dX$ , эквивалентной дозы  $dH$ ) за интервал времени  $dt$  к этому интервалу:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}; \quad \dot{X} = \frac{dX}{dt}; \quad \dot{H} = \frac{dH}{dt}.$$

В табл. 18.1 приведены соотношения между единицами в системе СИ и внесистемными единицами в области ионизирующих излучений.

В случае неравномерного облучения разных органов или тканей тела человека используется понятие *эффективной эквивалентной дозы*  $H_E$

Для оценки радиационной опасности введено понятие риска. *Риск* – вероятность возникновения неблагоприятных последствий для человека (смерть, травматизм, заболевание и т. п.) вследствие облучения, аварии или другой причины, проявление которой носит стохастический характер. Например, риск смерти от курения  $r_r^4 = 5 \cdot 10^{-4}$  случаев / (чел. год).

Предел индивидуального пожизненного риска в условиях нормальной эксплуатации для техногенного облучения персонала в течение года принимается округленно  $1,0 \cdot 10^{-3}$  а для населения –  $5 \cdot 10^{-3}$ .

Уровень пренебрежительного риска разделяет область оптимизации риска и область безусловного приемлемого риска и составляет  $10^{-6}$ .

Эффективная эквивалентная доза

$$H_E = \sum_T w_T H_T,$$

где  $H_T$  – эквивалентная доза в Т-м органе или ткани;  $w_T$  – взвешивающий фактор, представляющий собой отношение стохастического риска смерти в результате облучения Т-го органа или ткани к риску смерти от равномерного облучения всего тела при одинаковых эквивалентных дозах (табл. 3). Таким образом,  $w_T$  определяет весовой вклад данного органа или ткани в риск неблагоприятных последствий для организма при равномерном облучении.

Единицы измерения эффективной эквивалентной дозы совпадают с единицами эквивалентной дозы.

Таблица 3

**Взвешивающие факторы  $w_T$  и риск смерти от злокачественных опухолей и наследственных дефектов в результате облучения для 1 чел. при эквивалентной дозе  $1 \text{ Зв}$   $r_T$  для задач радиационной защиты**

Орган или ткань	Заболевание	$r_T \cdot 10^{-2}, \frac{1}{\text{чел.} \cdot \text{Зв}}$	$w_T$
Гонады	Наследственные дефекты*	0,40	0,25
Молочная железа	Рак	0,25	0,15
Красный костный мозг	Лейкемия	0,20	0,12
Легкие	Рак	0,20	0,12
Щитовидная железа	Рак	0,05	0,03
Поверхность кости	Злокачественные новообразования	0,05	0,03
Все другие органы	То же	0,50**	0,30**
Из них на каждый		0,10	0,06
<b>ВСЕГО</b>		<b>1,65</b>	<b>1,00</b>

\* У первых двух поколений потомства облученных лиц.

\*\* Эта величина распределяется между пятью оставшимися органами и тканями, которые получили самую высокую эквивалентную дозу.

Таблица 4

**Радиационное воздействие и соответствующие биологические эффекты**

Воздействие			
Доза, Зв	Мощность дозы или продолжительность	Облучение	Биологический эффект
1	2	3	4
0,003	В течение недели	О	Практически отсутствует
0,01	Ежедневно (в течение нескольких лет)	О	Лейкемия
0,015	Единовременно	Л	Хромосомные нарушения в опухолевых клетках (культура соответствующих тканей)
0,25	В течение недели	Л	Практически отсутствует
0,5 1	Накопление малых доз	Л	Удвоение мутагенных эффектов у одного поколения
2	Единовременно	О	Тошнота
3-5		О	СД <sub>50</sub> для людей
4		Л	Выпадение волос (обратимое)
45	0,1 0,5 3 в/сут	О	Возможно излечение в стационарных условиях
69	3 Зв/сут или накопление малых доз	Л	Радиационная катаракта
10 25	2 3 Зв/сут	Л	Возникновение рака сильно радиочувствительных органов
25 60	2 3 Зв/сут	Л	Возникновение рака умеренно радиочувствительных органов
40 50	2 3 Зв/сут	Л	Дозовый предел для

			нервных тканей
50 60	2 3 Зв/сут	Л	Дозовый предел для желудочно-кишечного тракта

*Примечание.* О – общее облучение тела; Л – локальное облучение; СД<sub>50</sub> – доза, приводящая к 50 %-ной смертности среди лиц, подвергшихся облучению.

Значения некоторых доз и эффектов воздействия излучения на организм приведены в табл. 4.

## **2. ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

Действие ионизирующих излучений в определенных дозах может вызвать неблагоприятные для здоровья эффекты, которые могут стать явными у самого облученного лица или проявиться у его потомства. В первом случае их принято называть соматическими, во втором – *генетическими или наследственными.*

### **2.1. Уровни при работе с источниками ионизирующих излучений**

Основным государственным документом, регламентирующим уровни облучения персонала и населения в нашей стране, являются «Нормы радиационной безопасности» (НРБ) и «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП). Применительно к отдельным видам деятельности, связанной с использованием источников ионизирующих излучений, разработаны специализированные нормативы.

Нормами радиационной безопасности устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

*Группа А – персонал* (профессиональные работники) – лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений;

*Группа Б – персонал* (профессиональные работники) – лица, которые не работают непосредственно с источниками излучения, но по условиям размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ и других источников ионизирующих излучений, применяемых в учреждениях и (или) удаляемых во внешнюю среду с отходами;

*Все население, включая лиц персонала вне сферы условий их производственной деятельности.*

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- 1) основные пределы доз (ПД) приведены в табл. 5;
- 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 активности (ДОА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и др.;
- 3) контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Для достижения целей защиты устанавливаются *основные дозовые пределы*. К основным дозовым пределам относятся пределы доз для населения.

Таблица 5

Основные пределы доз

Нормируемые величины*	Пределы доз	
	Персонал (группа А)**	Население
Эффективная доза	20 мЗв в среднем за	1 мЗв в год в среднем за



	любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год		
в хрусталике глаза***	150 мЗв	15 мЗв
коже ****	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	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 нормативные значения для категории персонала приводятся только для группы А.

\*\*\* Относится к дозе на глубине 300 мг/см<sup>2</sup>.

\*\*\*\* Относится к среднему по площади в 1 см<sup>2</sup> значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/м<sup>2</sup> под покровным слоем толщиной 5 мг/см<sup>2</sup>. На ладонях толщина покровного слоя – 40 мг/см<sup>2</sup>. Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см<sup>2</sup> площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает непревышение предела дозы на хрусталик от β-частиц.

Пределы доз (ПД) – наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья персонала (группа А) неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

Основные пределы (ПД) и остальные уровни допустимого облучения персонала группы Б равны 0,25 значений для персонала группы А.

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.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.

## 2.2. Уровни фонового облучения человека

Компонентами фоновых источников ионизирующих излучений являются космическое излучение и естественные радиоактивные вещества, содержащиеся в воздухе и почве, а также в организме самого человека. В условиях естественного фонового облучения человек и все живые организмы находятся постоянно. Особенность естественной радиации – практическая неизменность мощности дозы во времени для данной местности.

Мощность дозы естественного фона составляет около 0,15 мкЗв/ч, в зависимости от местных условий может меняться в два раза. Некоторые горные породы, например, гранит, слабо радиоактивны и поэтому вызывают повышенный уровень излучения. Вплотную к гранитной стене мощность дозы излучения может возрасти на 0,15 мкЗв/ч.

Естественный фон больше при подъеме над уровнем моря, а также в местах выхода на поверхность земли горных пород, содержащих уран или продукты его распада. В основном на территории России гамма-фон составляет 10-20 мкР/ч (0,1–0,2 мкЗв/ч) и не превышает 60 мкР/ч.

Уровни фонового облучения человека могут служить основой для его сравнения с облучением от искусственных источников радиации. Так, установленные в настоящее время пределы доз и контрольные уровни для населения сравнимы с уровнями естественного фона.

Сводные результаты о годовых среднемировых уровнях облучения от естественных источников ионизирующих излучений приведены в табл. 6.

Если мощность дозы превышает 1,2 мкЗв/ч, рекомендуется удалиться с данного места или оставаться на нем не более полугода за год. Если мощность дозы превысит 2,5 мкЗв/ч, время пребывания следует ограничить одним кварталом в год, при 7 мкЗв/ч – одним месяцем в год.

Таблица 6

**Эквивалентные и эффективные эквивалентные годовые дозы  
облучения населения за счет природных источников радиации в  
регионах с нормальным фоном**

Вид облучения	Эквивалентная доза облучения органов и тканей $H$ , мкЗв						Эффективная эквивалентная доза $H_e$ , мкЗв
	Красный костный мозг	Эндостальные клетки	Легкие	Щитовидная железа	Желудочно-кишечный тракт	Гонады	
Внешнее	620	620	620	620	620	620	620
Внутреннее	290	1240	420	310	310	310	380
Всего	910	1860	1040	930	930	930	1000

### 2.3. Уровни радиоактивных загрязнений

В случае радиационных катастроф на объектах ядерной энергетики и промышленности, а также при применении ядерного оружия регламентируются уровни радиоактивного загрязнения местности, рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты (табл. 7).

Таблица 7

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты, част/(см<sup>2</sup>хмин)

Объект загрязнения	Альфа-активные нуклиды		Бета-активные нуклиды
	отдельные	прочие	
Неповрежденная кожа, спецбелье,	2	0	200

полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты			
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, наружная поверхность спецобуви	5	20	2000
Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	5	20	2000

В определенных условиях источники радиоактивного излучения могут попадать в организм с загрязненными радиоактивными веществами, продуктами питания и водой, создавая опасность внутреннего облучения. Соответственно, возникает задача контроля удельной и объемной активности в молоке, мясе, хлебе, рыбе и др. (табл. 8).

Таблица 8

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения пищевых продуктов

Вид продуктов	Удельная $A_m$ или объемная $A_v$ активность образца	
	Бк/кг; Бк/л	Ки/кг; Ки/л
Вода питьевая, молоко	$3,7 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^{-6}$
Мясопродукты, рыбопродукты	$3,7 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-7}$
Зерно, крупа, хлебопродукты	$3,7 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^{-8}$
Молокопродукты, овощи, зелень	$3,7 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-7}$
Яйцо (пара), сахар	$1,85 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^{-6}$
Сгущенное молоко, грибы	$1,85 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^{-7}$
Сыр, масло сливочное, жиры растительные, маргарин	$7,4 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^{-7}$
Лекарственные растения на сухое вещество	$7,4 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^{-7}$

Если загрязнение контролируемого продукта достигает 4 кБк/кг (л), рекомендуется отказаться от их потребления или ограничить потребление вдвое по сравнению с обычным рационом. Если излучение от продуктов питания повысит мощность дозы до 0,3 мкЗв/ч над уровнем фона, потребление таких продуктов должно составлять не более четверти обычного рациона, при 1 мкЗв/ч – не более одной десятой.

### 3. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ДОЗИМЕТРИИ

Принцип обнаружения ионизирующих излучений (нейтронов, гамма-лучей, бета- и альфа-частиц) основан на способности этих излучений ионизировать вещество среды, в которой они распространяются. Ионизация является причиной физических и химических изменений в веществе, которые могут быть обнаружены и измерены. Это изменения электропроводности веществ (газов, жидкостей, твердых материалов); люминесценция (свечение) некоторых веществ; засвечивание фотопленок; изменение цвета, окраски, прозрачности, сопротивления электрическому току некоторых химических растворов и др.

Для обнаружения и измерения ионизирующих излучений используют следующие методы:

- ◆ фотографический;
- ◆ сцинтилляционный;
- ◆ химический;
- ◆ ионизационный.

*Фотографический метод* основан на определении степени почернения фотоэмульсии. Под воздействием ионизирующих излучений молекулы бромистого серебра, содержащегося в фотоэмульсии, распадаются на серебро и бром. При этом образуются кристаллики серебра, которые и вызывают почернение фотопленки при ее проявлении. Плотность почернения пропорциональна поглощенной энергии излучения. Сравнивая плотность почернения с эталоном, определяют дозу излучения (экспозиционную или поглощенную), полученную пленкой. На этом принципе основаны индивидуальные фотодозиметры.

*Сцинтилляционный метод.* Некоторые вещества (сернистый цинк, йодистый натрий) под воздействием ионизирующих излучений светятся. Количество вспышек пропорционально мощности дозы излучения и регистрируется с помощью специальных приборов – фотоэлектронных умножителей.

*Химический метод.* Некоторые химические вещества под воздействием ионизирующих излучений меняют свою структуру. Так, хлороформ в воде при облучении разлагается с образованием соляной кислоты, которая дает цветную реакцию с красителем, добавленным к хлороформу. Двухвалентное железо в кислой среде окисляется в трехвалентное под воздействием свободных радикалов  $\text{HO}_2$  и  $\text{OH}$ , образующихся в воде при ее облучении. Трехвалентное железо с красителем дает цветную реакцию. По плотности окраски судят о дозе излучения (поглощенной энергии). На этом принципе основаны химические дозиметры ДП-70 и ДП-70М.

*Ионизационный метод.* Под воздействием излучений в изолированном объеме происходит ионизация газа: электрически нейтральные атомы (молекулы) газа разделяются на положительные и отрицательные ионы. Если в этот объем поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение, то между электродами создается электрическое поле. При наличии электрического поля в ионизированном газе возникает направленное движение электрически заряженных частиц, то есть через газ проходит электрический ток, называемый ионизационным. Измеряя ионизационный ток, можно судить об интенсивности ионизирующих излучений.

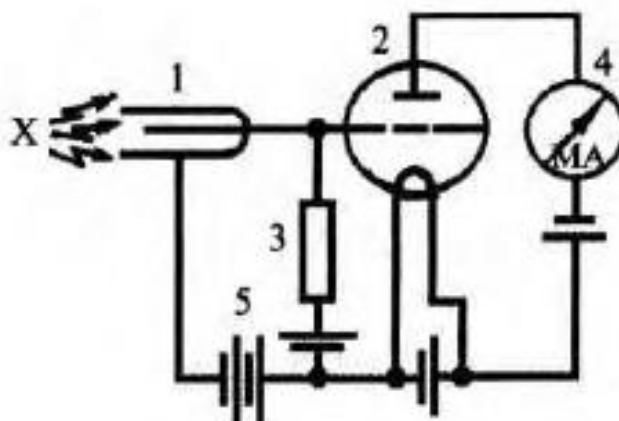


Рис. 1.

Приборы, работающие на основе ионизационного метода, имеют принципиально одинаковое устройство (рис.1) и включают: воспринимающее устройство (ионизационную камеру или газоразрядный

счетчик) 1, усилитель ионизационного тока (электрическая схема, включающая электрометрическую лампу 2, нагрузочное сопротивление 3 и другие элементы), регистрирующее устройство 4 (микроамперметр) и источник питания 5 (сухие элементы или аккумуляторы).

*Газоразрядный счетчик* используется для измерения радиоактивных излучений малой интенсивности. Высокая чувствительность счетчика позволяет измерять интенсивность излучения в десятки тысяч раз меньше той, которую удастся измерить ионизационной камерой.

Газоразрядный счетчик представляет собой полый герметичный металлический или стеклянный цилиндр, заполненный разреженной смесью инертных газов (аргон, неон) с некоторыми добавками, улучшающими работу счетчика (пары спирта). Внутри цилиндра вдоль его оси натянута тонкая металлическая нить (анод), изолированная от цилиндра. Катодом служит металлический корпус или тонкий слой металла, нанесенный на внутреннюю поверхность стеклянного корпуса счетчика. К металлической нити и токопроводящему слою (катоде) подают напряжение электрического тока.

В газоразрядных счетчиках используют принцип усиления газового разряда. Следовательно, в цепи счетчика электрического тока также нет. При воздействии радиоактивного излучения в рабочем объеме счетчика образуются заряженные частицы. Электроны, двигаясь в электрическом поле к аноду счетчика, площадь которого значительно меньше площади катода, приобретают кинетическую энергию, достаточную для дополнительной ионизации атомов газовой среды. Таким образом, одна частица радиоактивного излучения, попавшая в объем смеси газового счетчика, вызывает образование лавины свободных электронов. В результате этого возникает электрический импульс. Регистрируя количество импульсов тока, возникающих в единицу времени, можно судить об интенсивности радиоактивных излучений.

#### 4. ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Дозиметрические приборы предназначены для:

- ♦ контроля облучения – получения данных о поглощенных или экспозиционных дозах облучения людьми или животными;
- ♦ контроля радиоактивного заражения радиоактивными веществами людей, животных, а также техники, транспорта, оборудования, средств индивидуальной защиты, одежды, продовольствия, воды и других объектов;
- ♦ радиационной разведки – определения уровня радиации на местности.

Кроме того, с помощью дозиметрических приборов может быть определена наведенная радиоактивность в облученных нейтронными потоками различных технических средствах, предметах и грунте.

Для радиационной разведки и дозиметрического контроля на объекте используют дозиметры и измерители мощности экспозиционной дозы, тактико-технические характеристики которых приведены в табл. 9.

Таблица 9

Тактико-технические характеристики дозиметров и измерителей  
мощности экспозиционной дозы

Наименование	Назначение	Диапазон измерения	Погрешность измеренной дозы, %	Диапазон рабочих температур, °С	Основные данные о комплектности	Масса, кг
1	2	3	4	5	6	7
<b>Дозиметры</b>						
Комплект дозиметров ДП-22В, имеющих дозиметры ДКП-50А	Для измерения экспозиционных доз гамма-излучения	2 50 · Р	– 10	40...+50	ДКП-50А — 50 шт. За-рядное уст-ройство ЗД-5 1 шт.	ДКП-50А — 32 г. Ком-плект в укла-дочном ящи-ке 5 кг; ЗД-5 1,4 кг.



Комплект дозиметров ДП-24, имеющих дозиметры ДКП-50А	То же	2 50 Р	- 10	40...+50	ДКП-50А — 50 шт. Зарядное устройство ЗД-5 1 шт.	ДКП-50А — 32 г. Комплект в упаковочном ящике 3,2 кг 3,2кг
Комплект индивидуальных дозиметров ИД-1	Для измерения поглощенных доз гамма-нейтронного излучения	20 500 рад	-20	50...+50	ИД-1 10 шт. Зарядное устройство ЗД-6 1 шт.	ИД-1 40 г. Комплект в футляре 1,5 кг. ЗД-6 0,5 кг.
<i>Измерители мощности экспозиционной дозы (радиометры)</i>						
Измеритель мощности дозы ДП-5А (Б) ДП-5В ИМД-5)	Для измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на местности и радиационного заражения различных поверхностей по гамма-излучению	0,05 мР/ч 200 Р/ч	-30	40...+50 при влажности 65-15 %	Прибор в футляре с контрольным источником бета-излучения — 1 шт. Удлинительная штанга — 1 шт.	ДП-5А (Б) 2,8 кг ДП-5В 3,2 кг ИМД-5 3,5 кг
Измеритель мощности дозы ДП-5В	То же	0,05мР/ч 200 Р/ч	-30	40...+50 при влажности 65-15 %	То же	3,2 кг
Дозиметр-радиометр ИРД-02Б1	Для измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и оценки загрязненности излучающими нуклидами проб воды, пищи, почвы и т.п. по бета-излучению	0,1 19,99 мкЗв/ч 1·10 <sup>4</sup> 2·10 <sup>6</sup> Бк/л	±40	0 +40 °С при влажности до 80 %	Прибор с элементами питания А316 — 6 шт.	0,75 кг

*Комплекты индивидуальных дозиметров ДП-22В и ДП-24, имеющие дозиметры карманные прямопоказывающие ДКП-50А, предназначенные для контроля экспозиционных доз гамма-облучения, получаемых людьми при работе на зараженной радиоактивными веществами местности или при работе с открытыми и закрытыми источниками ионизирующих излучений.*

*Комплект дозиметров ДП-22В (рис. 2,а) состоит из зарядного устройства 1 типа ЗД-5 и 50 индивидуальных дозиметров карманных прямопоказывающих 2 типа ДКП-50А. В отличие от ДП-22В комплект дозиметров ДП-24 (рис.2, б) имеет пять дозиметров ДКП-59А.*

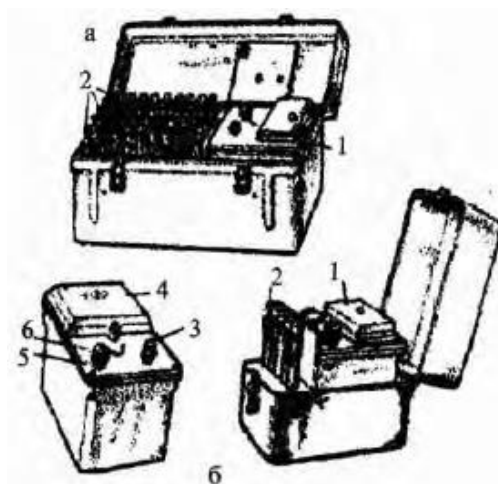


Рис. 2. Комплект дозиметров: а - ДП-22В; б - дп-24

Устройство 1 предназначено для зарядки дозиметров ДКП-50А. В корпусе ЗД-5 размещены: преобразователь напряжения, выпрямитель высокого напряжения, потенциометр регулятор напряжения, лампочка для подсвета зарядного гнезда, микровыключатель и элементы питания. На верхней панели устройства находятся: ручка потенциометра 3, зарядное гнездо 5 с колпачком 6 и крышка отсека питания 4.

Питание осуществляется от двух сухих элементов типа 10,6-ПМЦ-У-8, обеспечивающих непрерывную работу прибора не менее 30 часов при токе потребления 200 мА. Напряжение на выходе зарядного устройства плавно регулируется в пределах от 180 до 250 В.

*Дозиметр карманный прямопоказывающий ДКП-50А* предназначен для измерения экспозиционных доз гамма-излучения. Конструктивно он выполнен в форме авторучки (рис. 3). Дозиметр состоит из дюралевого корпуса 1, в котором расположены ионизационная камера с конденсатором, электроскоп, отсчетное устройство, зарядная часть.

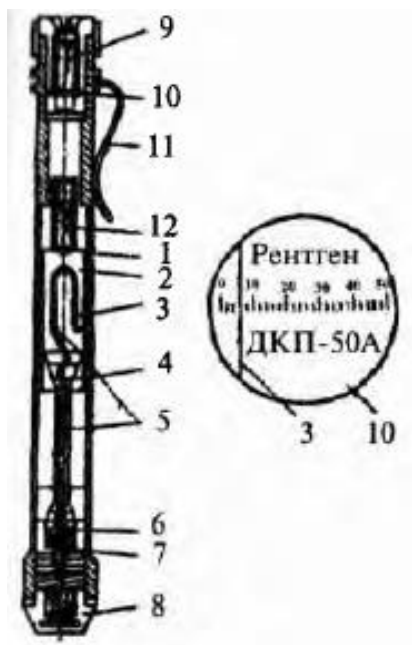


Рис. 3. Дозиметр карманный прямопоказывающий ДКП-50А

Основная часть дозиметра – малогабаритная ионизационная камера 2, к которой подключен конденсатор 4 с электроскопом.

Внешним электродом системы камера – конденсатор является дюралевый цилиндрический корпус 1, внутренним электродом – алюминиевый стержень 5. Электроскоп образует изогнутая часть внутреннего электрода (держатель) и приклеенная к нему платинированная визирная нить (подвижной элемент) 3.

В передней части корпуса расположено отсчетное устройство – микроскоп с 90-кратным увеличением, состоящий из окуляра 9, объектива 12 и шкалы 10. Шкала имеет 25 делений (от 0 до 50).

Цена одного деления соответствует двум рентгенам. Шкалу и окуляр крепят фасонной гайкой. В задней части корпуса находится зарядная часть,

состоящая из диафрагмы 7 с подвижным контактным штырем 6. При нажатии штырь 6 замыкается с внутренним электродом ионизационной камеры. При снятии нагрузки контактный штырь диафрагмой возвращается в исходное положение. Зарядную часть дозиметра предохраняет от загрязнения защитная оправа 8. Дозиметр крепится к карману одежды с помощью держателя 11. Принцип действия дозиметра подобен действию простейшего электроскопа. В процессе зарядки дозиметра визирная нить 3 электроскопа отклоняется от внутреннего электрода 5 под влиянием сил электростатического отталкивания. Отклонение нити зависит от приложенного напряжения, которое при зарядке регулируют и подбирают так, чтобы изображение визирной нити совместились с нулем шкалы отсчетного устройства.

При воздействии гамма-излучения на заряженный дозиметр в рабочем объеме камеры возникает ионизационный ток. Ионизационный ток уменьшает первоначальный заряд конденсатора и потенциал внутреннего электрода пропорционально экспозиционной дозе гамма-излучения. Изменение потенциала внутреннего электрода приводит к уменьшению сил электростатического отталкивания между визирной нитью и держателем электроскопа. В результате визирная нить сближается с держателем, а изображение ее перемещается по шкале отсчетного устройства. Держа дозиметр против света и наблюдая через окуляр за нитью, можно в любой момент произвести отсчет полученной экспозиционной дозы излучения.

*Дозиметр ДКП-50А* обеспечивает измерение индивидуальных экспозиционных доз гамма-излучения в диапазоне от 2 до 50 Р при помощи экспозиционной дозы излучения от 0,5 до 200 Р/ч. Саморазряд дозиметра в нормальных условиях не превышает двух делений за сутки.

Зарядка дозиметра ДКП-50А производится перед выходом на работу в район радиоактивного заражения (действия гамма-излучения) в следующем порядке.

- ◆ Отвинтить защитную оправу дозиметра (пробку со стеклом) и защитный колпачок зарядного гнезда ЗД-5.

- ◆ Ручку потенциометра зарядного устройства повернуть влево до отказа.

- ◆ Дозиметр вставить в зарядное гнездо зарядного устройства, при этом включается подсветка зарядного гнезда и высокое напряжение.

- ◆ Наблюдая в окуляр, слегка нажать на дозиметр и, поворачивая ручку потенциометра вправо, установить нить на «» шкалы, после чего вынуть дозиметр из зарядного гнезда.

- ◆ Проверить положение нити на свет: ее изображение должно быть на отметке «0», завернуть защитную оправу дозиметра и колпачок зарядного гнезда.

Экспозиционную дозу излучения определяют по положению нити на шкале отсчетного устройства. Отсчет необходимо производить при вертикальном положении нити, чтобы исключить влияние на показание дозиметра прогиба нити от веса.

*Комплект ИД-1* предназначен для измерения поглощенных доз гамма-нейтронного излучения. Он состоит из индивидуальных дозиметров НД-1 и зарядного устройства ЗД-6. Принцип работы дозиметра ИД-1 аналогичен принципу работы дозиметров для измерения экспозиционных доз гамма-излучения типа ДКП-50А.

*Техническая характеристика комплекта ИД-1:*

- ◆ диапазон измерения доз – 20–500 рад;
- ◆ работоспособность сохраняется при температурах от -50 до +50 °С;

- ◆ саморазряд не превышает за 24 часа одно деление, за 150 часов – 2 деления;

- ◆ конструкции дозиметров герметичны, электроды из воздушно-эквивалентной пластмассы, микроскоп 90 крат;

- ♦ в ЗД-6 преобразователь механической энергии в электрическую состоит из 4 пьезоэлементов, соединенных параллельно, и механического усилителя, зарядно-контактного гнезда, ручки для регулирования выходного напряжения, зеркала для освещения шкалы при зарядке дозиметра;
- ♦ время зарядки дозиметра – не более 1 мин и заряд конденсатора 180–250 В;
- ♦ масса измерителя дозы 40 г, зарядного устройства – 540 г, всего комплекта в футляре – 2 кг.

*Подготовка дозиметра к работе:*

- ♦ повернуть ручку против часовой стрелки до упора;
- ♦ снять остаточный заряд со штыря контактно-зарядного гнезда;
- ♦ направить ЗД-6 зеркалом на внешний источник света, добиться максимального освещения шкалы;
- ♦ нажать на дозиметр, наблюдая в окуляр, поворачивать ручку по часовой стрелке до установки нити на 0.

*Измерение дозы облучения.* Вынуть дозиметр из кармана и, наблюдая в окуляр на свет, по положению нити на шкале определить полученную дозу облучения (в радах).

*Измерители мощности дозы ДП-5А (Б) и ДП-5В* предназначены для измерения уровней радиации на местности и радиоактивной зараженности различных предметов по гамма-излучению. Мощность гамма-излучения определяется в миллирентгенах или рентгенах в час для той точки пространства, в которой помещен при измерениях соответствующий счетчик прибора. Кроме того, имеется возможность обнаружения бета-излучения.

Диапазон измерений по гамма-излучению от 0,05 мР/ч до 200 Р/ч в диапазоне энергий гамма-квантов от 0,084 до 1,25 Мэв. Приборы ДП-5А, ДП-5Б и ДП-5В имеют шесть поддиапазонов измерений (табл. 10). Отсчет показаний приборов производится по нижней шкале микроамперметра в Р/ч, по верхней шкале – в мР/ч с последующим умножением на соответствующий

коэффициент поддиапазона. Участки шкалы от нуля до первой значащей цифры являются нерабочими.

Устройство и принцип работы измерителя мощности дозы ИМД-5 аналогичны указанным для приборов ДП-5А, ДП-5В.

Таблица 10

Поддиапазоны	Положение ручки переключателя поддиапазонов	Шкала	Единица	Пределы измерения	Время установления показателей, с
I	200	0-200	Р/ч	5 200	10
II	X1000	0-5	мР/ч	500 5000	10
III	X100	0-5	То же	50 500	30
IV	X10	0-5		5 50	45
V	X1	0-5		0,5 5	45
VI	X0,1	0-		0,05 0,5	45

Прибор обеспечивает измерение мощности поглощенной дозы гамма-излучения от 0,05 мрад/ч до 200 рад/ч (табл. 11).

Прибор обеспечивает индикацию плотности потока бета-излучения в пределах от 50 до 50000 бета-част./(мин. см<sup>2</sup>) (табл. 12).

Приборы имеют звуковую индикацию на всех поддиапазонах, кроме первого. Звуковая индикация прослушивается с помощью головных телефонов 8 (см. рис. 4).

Таблица 11

Поддиапазон	Положение ручки переключателя	Шкала прибора	Обозначение единицы измерения		Пределы измерений
			русское	международное (на шкале)	
1	200	0 200	рад/ч	- rad/h	5 200
2	x1000	0 5	мрад/ч	mrاد/h	500 5000
3	x100	0 5	мрад/ч	mrاد/h	50 500
4	x10	0 5	мрад/ч	mrاد/h	5 50
5	x1	0 5	мрад/ч	mrاد/h	0,5 5
6	x0,1	0 5	мрад/ч	mrاد/h	0,05 0,5

Таблица 12

Под-диапазон	Положение ручки переключателя	Шкала прибора	Обозначение единицы измерения		Пределы индикации
			русское	международное (на шкале)	
4	$\times 10^4$	0 5	бета-част./ (мин·см <sup>2</sup> )	$\beta / (\text{min} \cdot \text{cm}^2)$	5000 500 00
5	$\times 10^3$	0 5	бета-част./ (мин см <sup>2</sup> )	$\beta / (\text{min} \cdot \text{cm}^2)$	500 5000
6	$\times 10^2$	0 5	бета-част./ (мин·см <sup>2</sup> )	$\beta / (\text{min} \cdot \text{cm}^2)$	50 500

Питание приборов осуществляется от трех сухих элементов типа КБ-1 (один из них для подсветки шкалы), которые обеспечивают непрерывность работы в нормальных условиях не менее 40 часов – ДП-5А, 55 часов – ДП-5В и 100 часов – ИМД-5. Приборы могут подключаться к внешним источникам постоянного тока напряжением: 3,6 и 12 В – ДП-5А и 12 или 24 В – ДП-5В и ИМД-5, имея для этой цели колодку питания и делитель напряжения с кабелем длиной Юм соответственно.

*Приборы ДП-5А (Б), ДП-5В и ИМД-5 (рис. 4).* Прибор состоит из измерительного пульта; зонда в ДП-5А (Б) или блока детектирования в ДП-5В 1, соединенных с пультами гибкими кабелями 2; контрольного стронциево-иттриевого источника бета-излучения для проверки работоспособности приборов (с внутренней стороны крышки футляра у ДП-5А (Б) и на блоке детектирования у ДП-5В и ИМД-5).

На панели измерительного пульта размещены: микроамперметр с двумя измерительными шкалами 3; переключатель поддиапазонов 4; ручка «Режим» 6 (потенциометр регулировки режима); кнопка сброса показаний («Сброс») 7; тумблер подсвета шкалы 5; винт установки нуля 10; гнездо включения головных телефонов 11. Внизу кожуха имеется отсек для размещения источников питания. При отсутствии элементов питания сюда может быть подключен делитель напряжения от источников постоянного тока.

Воспринимающими устройствами являются газоразрядные счетчики.

Зонд и блок детектирования 1 представляет собой стальной цилиндрический корпус с окном для индикации бета-излучения. На корпус



надет металлический поворотный экран, который фиксируется в двух положениях («Г», «Б») на зонде у ДП-5А(Б) и в трех положениях («Г», «Б», «К») на блоке детектирования у ДП-5В и ИМД-5. В положении «Г» окно корпуса закрывается экраном, и в счетчик могут проникать только гамма-лучи. При повороте экрана в положении «Б» окно корпуса открывается, и бета-частицы проникают к счетчику. В положении «К» контрольный источник бета-излучения, который укреплен в углублении на экране, устанавливается против окна и в этом положении проверяется работоспособность прибора ДП-5В и ИМД-5.

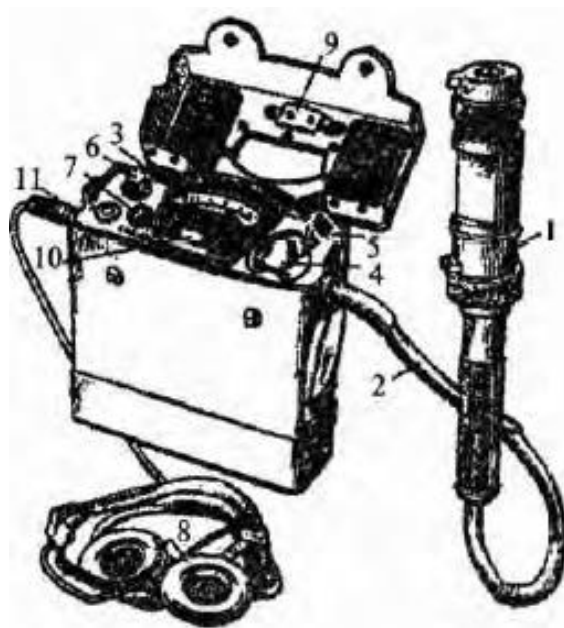


Рис. 4. Головные телефоны

Головные телефоны 8 состоят из двух малогабаритных телефонов типа ТГ-7М. Они подключаются к измерительному пульту и фиксируют наличие радиоактивных излучений: чем выше мощность излучений, тем чаще звуковые щелчки.

Подготовка прибора к работе проводится в следующем порядке.

- ♦ Извлечь прибор из укладочного ящика, открыть крышку футляра, провести внешний осмотр.
- ♦ Вынуть зонд или блок детектирования; присоединить ручку к зонду, а к блоку детектирования – штангу.

- ◆ Установить корректором механический нуль на шкале микроамперметра.

- ◆ Подключить источники питания.

- ◆ Включить прибор, поставив ручки переключателей поддиапазонов в положение: «Реж.» ДП-5А и « ▲ » (контроль режима) у ДП-5В и ИМД-5 (стрелка прибора должна установиться в режимном секторе); у ДП-5А с помощью ручки потенциометра стрелку прибора установить на «▼». Если стрелки микроамперметров не входят в режимные сектора, необходимо заменить источники питания.

Проверку работоспособности приборов проводят на всех поддиапазонах, кроме первого («200»), с помощью контрольных источников, для чего экраны зонда и блока детектирования устанавливаются в положения «Б» и «К» соответственно и подключают головные телефоны. В приборе ДП-5А открывают контрольный бета-источник, устанавливают зонд опорными выступами на крышку футляра так, чтобы источник находился против открытого окна зонда. Затем, переводя последовательно переключатель поддиапазонов в положения «X 1000», «X 100», «X 10», «XI» и «X 0,1», наблюдают за показаниями прибора и прослушивают щелчки в телефонах. Стрелки микроамперметров должны зашкаливать на VI и V поддиапазонах, отклоняться на IV, а на III и II могут не отклоняться из-за недостаточной активности контрольных бета-источников.

После этого ручки переключателей поставить в положение «Выкл.» у ДП-5А и «Щ» у ДП-5В и ИМД-5; нажать кнопки «Сброс»; повернуть экраны в положение «▲». Приборы готовы к работе.

Радиационную разведку местности с уровнями радиации от 0,5 до 5 Р/ч производят на втором поддиапазоне (зонд и блок детектирования с экраном в положении «Г» остаются в кожухах приборов), а свыше 5 Р/ч – на первом поддиапазоне. При измерении прибор должен находиться на высоте 0,7–1 м от поверхности земли.

Степень гамма-радиоактивного заражения объектов определяется в следующей последовательности.

Измеряют гамма-фон в месте не менее 15–20 м от обследуемого объекта. Затем зонд (блок детектирования) подносят к поверхности объекта на расстоянии 1,5–2 см и медленно перемещают над поверхностью объекта (экран зонда в положении «Г»). Из максимальной мощности экспозиционной дозы, измеренной на поверхности объекта, вычитают гамма-фон. Результат будет характеризовать степень гамма-радиоактивного заражения объекта.

Для обнаружения бета-излучений необходимо установить экран зонда в положение «Б» и поднести его к обследуемой поверхности на расстоянии 1,5–2 см. Ручку переключателя поддиапазонов последовательно поставить в положения «X 0,1», «X I», «X 10» до получения отклонения стрелки микроамперметра в пределах шкалы. Увеличение показаний прибора на одном и том же поддиапазоне по сравнению с гамма-измерением показывает наличие бета-излучения.

Приборы ДП-5А, ДП-5В, ИМД-5 и индивидуальные дозиметры ДП22В, ДП-24 и ИД-1 применяются в условиях интенсивного облучения при радиационных авариях и катастрофах, а также в случае ядерного нападения.

*Дозиметр-радиометр ИРД-02Б1* (далее прибор) предназначен для измерения мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения, а также для оценки плотности потока бета-излучения от загрязненных поверхностей и оценки загрязненности бета-гамма-излучающими нуклидами проб воды, почвы, пищи, продуктов растениеводства, животноводства и т. п. (рис. 5).

Прибор имеет два режима работы, устанавливаемых переключателем «режим работы»:

- ◆ режим «мкЗв/ч» служит для обнаружения и измерения полей гамма-излучения, а также для измерения загрязненности по гамма-излучению проб воды, почвы, пищи, продуктов растениеводства, животноводства и т. д.;

♦ режим «част/(минхсм<sup>2</sup>)» служит для обнаружения и оценки степени загрязненности бета-гамма-излучающими нуклидами поверхностей и проб почвы, пищи, продуктов растениеводства, животноводства и т. д.

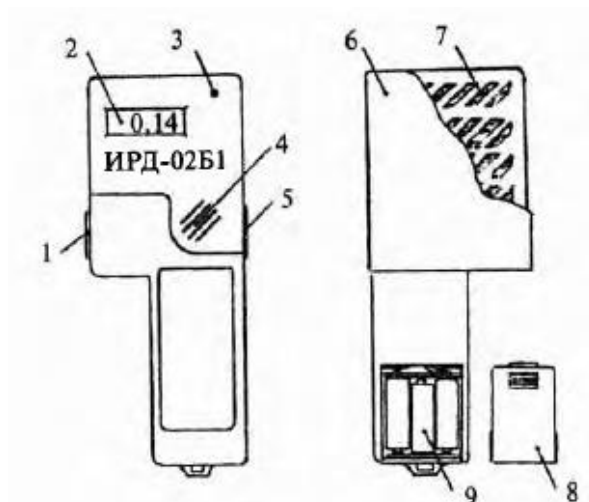


Рис. 5. Дозиметр-радиометр ИРД-02Б1:

1 - переключатель «ВКЛ-ВЫКЛ»; 2 - цифровое табло; 3 - отверстие для градуировки; 4 - звуковой излучатель; 5 - переключатель «мкЗв/ч-част/(минхсм<sup>2</sup>)\*»; 6 - экран; 7 - чувствительная поверхность; 8 - крышка отсека питания; 9 - элемент питания в кассете

### Основные технические характеристики дозиметра-радиометра ИРД-02Б1

<b>Диапазон измерения по гамма-излучению</b> мощности эквивалентной дозы, мкЗв/ч (экспозиционной дозы — мкР/ч) загрязненности проб воды, продуктов питания, почвы и т. п., Бк/л (Ки/л)	<b>0,1 19,99 ( 10 1999)</b> $1 \times 10^4 \ 2 \times 10^6$ $(2,7 \times 10^{-7} \ 5,4 \times 10^{-5})$
<b>Диапазон оценки по бета-излучению:</b> плотности потока бета-излучения; загрязненных поверхностей, част/(минхсм <sup>2</sup> ); загрязненности проб воды, продуктов питания, почвы и т. п., Бк/л, Бк/кг (Ки/л, Ки/кг)	<b>3 1999</b> $1 \times 10^3 \ 6 \times 10^5$ $(2,7 \times 10^{-8} \ 1,6 \times 10^{-5})$

## 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Измерения производятся прибором ИРД-02Б. Определение характеристик ионизирующего излучения производится осреднением 10 результатов измерения в точке замера. Начало измерений производить не ранее чем через 25 с после включения переключателя «ВКЛ-ВЫКЛ» в положение «ВКЛ». При оценке характеристики следует помнить, что последствия облучения определяются не мощностью дозы, а полученной дозой, т. е. мощностью дозы, умноженной на время, в течение которого облучался человек.

### 5.1. Проверка работоспособности прибора ИРД-02Б

Для определения уровня МЭД гамма-излучения необходимо произвести следующие действия:

- ♦ установить переключатель «мкЗв/ч — част/(минхсм<sup>2</sup>)» в положение «мкЗв/ч»;
- ♦ включить прибор, для чего установите переключатель «ВЫКЛ–ВКЛ» в положение «ВКЛ», после чего должны появиться отчетливые звуковые сигналы и цифровая индикация на дисплее прибора.

При естественном радиационном фоне показаниям 0,05– 0,20 мкЗв/ч соответствует частота повторения звукового сигнала 1–2 раза в сек.

*Внимание!* При всех измерениях гамма-излучения не следует снимать экран с прибора.

Примерно через 60 секунд после включения прибор готов к работе, при этом между вторым и третьим разрядом чисел на экране должна быть точка. При отсутствии точки нужно три-четыре раза перевести переключатель из положения «част/(минхсм<sup>2</sup>)» в положение «мкЗв/ч». Поместить прибор в то место, где необходимо определить МЭД гамма-излучения. Значение на цифровом табло примерно через 25 секунд соответствует величине мощности дозы гамма-излучения в данном месте, выраженной в микрозивертах в час (мкЗв/ч), а без учета точки (запятой) – в микрорентгенах в час (мкР/ч).

**Например:** Показание на цифровом табло прибора 0,14 означает, что мощность дозы составляет 0,14 мкЗв/ч или 14 мкР/ч.

## 5.2. Определение годовой эквивалентной дозы естественного фонового облучения в лаборатории

Порядок выполнения работы.

1. Перевести переключатель прибора в положение мкЗв/ч. Экран должен быть надет на детектор.
2. Измерить мощность экспозиционной дозы в нескольких местах лаборатории. Результаты измерений занести в табл. 18.13.

3. Определить годовую эквивалентную дозу облучения по формуле

$$H = H_{\text{ср}} \cdot T,$$

где  $H_{\text{ср}}$  – средняя мощность эквивалентной дозы в помещении, мкЗв/ч;

$T$  – время воздействия  $\gamma$ -излучения в течение года, ч

4. Сравнить полученные результаты с уровнями естественного фонового облучения человека, приведенными в разделе 2.2. и дать оценку уровня естественного фонового облучения в лаборатории.

Таблица 13

Источник	Время облучения (год)	№ замера	МЭД источника $\dot{H}$ , (мкЗв/ч)	Доза $H$ , (мкЗв/ч)
Вид излучения			$\gamma$	$\gamma$
Воздушная среда по- мещения	1	1.		
		2.		
		3.		
		10.		
Среднее значение				

## 5.3. Определение загрязненности веществ по бета-излучению

Для проведения работ подготовьте пробу продукта, загрязненность которого предполагается определить. Пробу приготавливайте в бытовой полиэтиленовой крышке, применяемой для закрывания и герметизации

банок. Продукт, подлежащий измерению, залейте или, предварительно измельчив, засыпьте ровным слоем в емкость таким образом, чтобы верхний край продукта отстоял от края емкости на 3–5 мм.

**Задание 1.** *Определить загрязненность вещества по бета-излучению.*

В качестве образца можно использовать калийную соль и сигаретный пепел.

1. Подготовить прибор к работе.
2. Перевести переключатель в положение «част/(минхсм<sup>2</sup>)». Снять экран, защищающий детектор от бета-излучения.

Для измерения загрязненности поднести прибор чувствительной поверхностью к предположительно загрязненной поверхности таким образом, чтобы до нее было расстояние не более одного сантиметра.

Через 25 с после размещения прибора над измеряемой поверхностью зафиксировать (запомнить) показание.

3. Не изменяя положения переключателя, закрыть детектор экраном и определить фоновое показание, которое необходимо вычесть из предыдущего для получения действительного значения загрязненности поверхности бета-излучателями. Показания соответствуют числу бета-частиц в минуту с квадратного сантиметра.

Полученную разность показаний следует умножить на 300. Найденное значение будет соответствовать объемной активности пробы в беккерелях на литр.

4. Измерить массовую активность вещества. Для этого детектор со снятой крышкой вплотную поднести к объекту измерения.

Разность показаний следует умножить на 300. Найденное значение будет соответствовать массовой активности пробы в беккерелях на килограмм.

5. Данные измерений заносим в табл. 14 и определяем загрязненность исследованной пробы.

Полученные результаты сравнить с уровнями радиоактивных загрязнений, приведенными в разделе 2.3, и оценить приемлемость полученных значений.

Таблица 14

**Активность радионуклида и радиационное загрязнение образца**

Образец	№ замера	Плотность излучения $A_{\beta}$ , част/мин·см <sup>2</sup>	Загрязненность образца $A_{\text{гр}}$ , Бк/кг
Вид излучения:		$\beta$	$\beta$
Калийная соль, Сигаретный пепел	1		
	2		
	3		
	10		
Среднее значение:			

**5.4. Определение загрязненности поверхностей по бета-излучению**

**Задание 2.** Измерить плотность потока бета-излучения от загрязненной поверхности.

В качестве загрязненной поверхности используется лабораторный стол.

Порядок выполнения работы:

1. Перевести переключатель прибора в положение «част/Дминхсм<sup>2</sup>)».
2. Снять экран с прибора, поднести детектор к поверхности стола на расстоянии 1 см и через 25 с зафиксировать показание прибора.
3. Вычесть показание прибора, полученное в п. 3, от показания, полученного в п. 2. Разность показаний прибора является действительным значением загрязненности поверхности бета-излучением в единицах «част/Дминхсм<sup>2</sup>)».
4. Дать оценку полученных результатов, сравнив их с данными, приведенными в табл. 6.



### **Контрольные вопросы**

1. Что представляет собой ионизирующее излучение?
2. Назовите виды фотонного и корпускулярного ионизирующего излучения.
3. Единицы измерения ионизирующего излучения.
4. Сформулируйте определение термина «поглощенная доза ионизирующего излучения».
5. Дайте определение понятиям «риск» и «эффективная эквивалентная доза».
6. Назовите основные нормативные документы, регламентирующие уровни облучения персонала и населения.
7. Назовите категории облучаемых лиц.
8. Сформулируйте классы нормативов для категорий облучаемых лиц.
9. Что понимают под пределом доз?
10. Уровни дозового облучения человека.
11. Назовите методы обнаружения и измерения ионизирующих излучений.
12. Для чего предназначены дозиметрические приборы?

## ЗАЩИТА ОТ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Цель работы:** изучить принципы нормирования воздействия электромагнитных полей на человека и способы защиты от воздействия электромагнитных полей СВЧ-диапазона.

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электромагнитное поле (ЭМП) складывается из электрического поля (ЭП), обусловленного напряжением на токоведущих частях электроустановок, и магнитного (МП), возникающего при прохождении тока по этим частям. Электромагнитное поле обладает определенной энергией и распространяется в виде электромагнитных волн. Основными параметрами электромагнитных колебаний являются: длина волны, частота колебаний и скорость их распространения. В зависимости от частоты колебаний (длины волн) электромагнитные излучения разделяют на ряд диапазонов, приведенных в табл. 1.

Вокруг источника излучения выделяют три зоны: ближняя – зона индукции, промежуточная – зона интерференции и дальняя – волновая зона. Границы зон определяются следующими расстояниями  $R$ :

- ♦ зона индукции –  $R < \frac{\lambda}{2\pi}$ ;
- ♦ зона интерференции –  $\frac{\lambda}{2\pi} < R < 2\pi\lambda$ ;
- ♦ зона волновая –  $R > 2\pi\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны.

Таблица 1

## Диапазон длин волн электромагнитных излучений

Название диапазона	Длина волны	Диапазон частот	Частота	По международному регламенту	
				Название диапазона частот	Номер
Длинные волны (ДВ)	101 км	Высокие частоты (ВЧ)	от 3 до 300 кГц	Низкие (НЧ)	5
Средние волны (СВ)	1 км-100 м	То же	от 0,3 до 3 МГц	Средние (СЧ)	6
Короткие волны (КВ)	1001 м	То же	от 0,3 до 30 МГц	Высокие (ВЧ)	7
Ультракороткие волны (УКВ)	101 м	Высокие частоты (УВЧ)	от 30 до 300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)	8
Микроволны: дециметровые (дм); сантиметровые (см); миллиметровые (мм);	1 м-10 см	Сверхвысокие частоты (СВЧ)	от 0,3 до 3 ГГц	Ультравысокие (УВЧ)	9
	101 см		от 3 до 30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)	10
	1 см-1 мм		от 30 до 300 ГГц	Крайневысокие (КВЧ)	

В зоне индукции работающие подвергаются воздействию различных по величине электрических и магнитных полей, поэтому их интенсивность оценивается раздельно величинами напряженности поля по электрической (В/м) и магнитной (А/м) составляющим. В зоне индукции человек может находиться при работе с источниками НЧ, СЧ и, в известной степени, ВЧ- и СВЧ-диапазонов.

Работающие с источниками УВЧ-, СВЧ- и КВЧ-диапазонов находятся в волновой зоне. Интенсивность поля оценивается величиной плотности потока энергии (ППЭ), т.е. количеством энергии, падающей на единицу

площади поверхности. ППЭ выражается в Вт/м<sup>2</sup> или в производных единицах мВт/м<sup>2</sup>, мкВт/см<sup>2</sup>.

Санитарно-эпидемиологические требования к условиям производственных воздействий ЭМП установлены СанПиН 2.2.4.1197-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» и направлены на обеспечение защиты персонала, профессионально связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников ЭМП.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.1197-03 оценка воздействия ЭМП промышленной частоты (50 Гц) осуществляется отдельно по напряженности электрического поля (Е) в кВ/м, напряженности магнитного поля (Н) в А/м. Нормирование электромагнитных полей 50 Гц на рабочих местах персонала дифференцировано в зависимости от времени пребывания в электрическом поле.

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочих местах в течение всей смены равен 5 кВ/м. При напряженности электрического поля в интервале от 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в поле Т, ч, рассчитывается по формуле

$$T = \left( \frac{50}{E} \right)^{-2},$$

где Е – напряженность ЭП в контролируемой точке, кВ/м.

При напряженности поля свыше 20 до 25 кВ/м включительно допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин. Пребывание в электрическом поле с напряженностью > 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Оценка и нормирование электромагнитных полей диапазона частот 10–30 кГц осуществляется по напряженности электрического (Е), в В/м, и магнитного (Н), в А/м, полей в зависимости от времени воздействия. ПДУ напряженности электрического и магнитных полей при воздействии в течение всей смены составляет 500 В/м и 50 А/м соответственно. При продолжительности воздействия ЭМП до двух часов ПДУ напряженности

электрического и магнитного полей составляет 1000 В/м и 100 А/м соответственно.

Оценка и нормирование ЭМП диапазона частот 30 кГц – 300 ГГц| осуществляется по величине энергетической экспозиции, которая рассчитывается по формулам:

в диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц:

$$\text{ЭЭ}_E = E^2 \cdot T, (\text{В/м})^2 \text{ч},$$

$$\text{ЭЭ}_H = H^2 \cdot T, (\text{А/м})^2 \text{ч}$$

в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц:

$$\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ } T, (\text{мкВт/см}^2) \text{ч},$$

где E – напряженность электрического поля (В/м);

H – напряженность магнитного поля (А/м);

ППЭ – плотность потока энергии (мкВт/см<sup>2</sup>);

T – время воздействия за смену (ч).

Предельно допустимые уровни энергетических экспозиций на рабочих местах за смену представлены в табл. 2.

Таблица 2

ПДУ энергетических экспозиций ЭМП диапазона  
частот > 30 кГц – 300 ГГц

Параметр, единицы измерения	ЭЭ <sub>ПДУ</sub> в диапазонах частот (МГц)				
	0,03 3,0	>3,0 30, 0	> 30,0 50,0	> 50,0 300,0	> 300,0 3 00000,0
ЭЭ <sub>Е</sub> (В/м) <sup>2</sup> ч	20000	7000	800	800	
ЭЭ <sub>Н</sub> (А/м) <sup>2</sup> ч	200		0,72		
ЭЭ <sub>ППЭ</sub> (мкВтч)					200

Максимально допустимые уровни напряженности электрического и магнитного полей, плотности потока энергии ЭМП приведены в табл. 3.

Биологических эффект воздействия ЭМП зависит от диапазона частот, интенсивности, продолжительности, режима (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный) и характера облучения, а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения органа или ткани.

Таблица 3

ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП диапазона частот  $> 30$  кГц –  $300$  ГГц

Параметр, единицы измерения	Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц)				
	0,03 3,0	$>3,0$ 30, 0	$> 30,0$ 50,0	$> 50,0$ 300,0	$> 300,0$ 300000,0
Е, В/м	500	300	80	80	
Н, А/м	50		3,0		1000
ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>					5000*

Примечание: \* – для условий локального облучения кистей рук.

Общим в характере биологического воздействия является тепловой эффект, который выражается либо в интегральном повышении температуры тела, либо в избирательном нагреве отдельных частей. Причем, органы и ткани, недостаточно снабженные кровеносными сосудами (мозг, хрусталик глаза, кишечник, семенники и др.), более чувствительны к такому нагреву. Так, при облучении глазной жидкости в течение 1 часа микроволновым излучением интенсивностью  $0,1$  Вт/см<sup>2</sup> она нагревается до температуры  $43,5$  °С с образованием катаракты через неделю.

Тепловая энергия, возникшая в тканях человека, увеличивает общее тепловыделение тела. Если механизм терморегуляции не способен рассеять

избыточное тепло, возможно повышение температуры всего тела. Это происходит при интенсивности поля выше  $100 \text{ Вт/м}^2$ , которая называется тепловым порогом.

Влияние ЭМП высоких и особенно СВЧ-диапазонов на живой организм обнаруживается и при интенсивностях ниже теплового порога, т. е. возможно их нетепловое воздействие, которое является результатом микропроцессов, происходящих под действием полей. Отрицательное воздействие ЭМП вызывает обратимые, а также необратимые изменения в организме: торможение рефлексов, понижение кровяного давления (гипотония), замедление сокращения сердца, изменение состава крови в сторону увеличения числа лейкоцитов и уменьшения эритроцитов. Нарушение гормонального равновесия при наличии СВЧ-фона на производстве следует рассматривать как противопоказания для профессиональной деятельности, связанной с напряженностью труда и частыми стрессовыми ситуациями.

Опасность воздействия ЭМП усугубляется трудностью обнаружения этого фактора, так как воздействие ЭМП не обнаруживается органами чувств человека. Важно также то обстоятельство, что ЭМП присущ кумулятивный эффект, т. е. негативные реакции возникают в результате суммирования относительно безопасных уровней воздействия.

Защитные меры от воздействия ЭМП включают ограничение времени работы с источником ЭМП, применение защитного экранирования, дистанционного управления устройствами, излучающими ЭМ волны, применение средств индивидуальной защиты.

Наиболее эффективным и часто применяемым методом защиты от ЭМП полей является экранирование самого источника или рабочего места. Защитные экраны делятся на отражающие и поглощающие излучение. К первому типу относятся сплошные металлические экраны, экраны из металлической сетки, из металлизированной ткани. Ко второму типу

относятся экраны из радиопоглощающих материалов. Формы и размеры экранов разнообразны и соответствуют условиям применения.

Толщину экрана  $\delta$  можно определить из формулы

$$\delta = \frac{L}{15,4 \cdot \sqrt{f \cdot \mu_a \cdot \sigma}}$$

где  $f$  – частота ЭМИ, Гц;

$\mu_a$  – магнитная проницаемость материала экрана, Гн/м,

$$\mu_a = \mu_r \cdot \mu_0$$

где  $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость материала экрана;

$\mu_0$  – магнитная постоянная, равна 12,56 Гн/м;

$\sigma$  – удельная проводимость материала экрана, Ом/м;

$L$  – требуемый коэффициент ослабления экрана, дБ.

Значение  $L$  определяется из формул:

$$L = 20 \lg \frac{E}{E_{\text{пду}}}; \quad L = 20 \lg \frac{H}{H_{\text{пду}}}; \quad L = 10 \lg \frac{S}{S_{\text{пду}}},$$

Где  $E$ ,  $H$ ,  $S$  – значения напряженности электрического (В/м) и магнитного (А/м) полей соответственно, а также плотности потока энергии (мВт/см<sup>2</sup>) при отсутствии экрана;

$E_{\text{пду}}$ ,  $H_{\text{пду}}$ ,  $S_{\text{пду}}$  – допустимые значения тех же величин.

В табл.4 приведены значения электрических характеристик некоторых металлов.

Таблица 4

Значения электрических характеристик некоторых металлов

Металл	Удельная проводимость $\sigma$ , Ом/м	Относительная магнитная проницаемость $\mu_r$
Алюминий	$3,3 \cdot 10^7$	1
Сталь 1	$10^7$	100
Сталь 2	$10^7$	200



Медь	$5,7 \cdot 10^7$	1
Латунь	$1,7 \cdot 10^7$	1

## 2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Внешний вид стенда представлен на рис.1.

Стенд представляет собой стол, выполненный в виде сварного каркаса со столешницей 1, под которой размещаются сменные экраны 2, используемые для изучения экранирующих свойств различных материалов. На столешнице 1 размещены СВЧ-печь 3 (источник излучения) и координатное устройство 4.

Координатное устройство 4 (рис.2) регистрирует перемещение датчика 5 СВЧ-поля (см. рис.1) по осям «Х», «У». Координата «2» определяется по шкале, нанесенной на измерительную стойку 6, по которой датчик 5 может свободно перемещаться. Это дает возможность исследовать распределение СВЧ-излучения в пространстве со стороны передней панели СВЧ-печи (элементы наиболее интенсивного излучения).

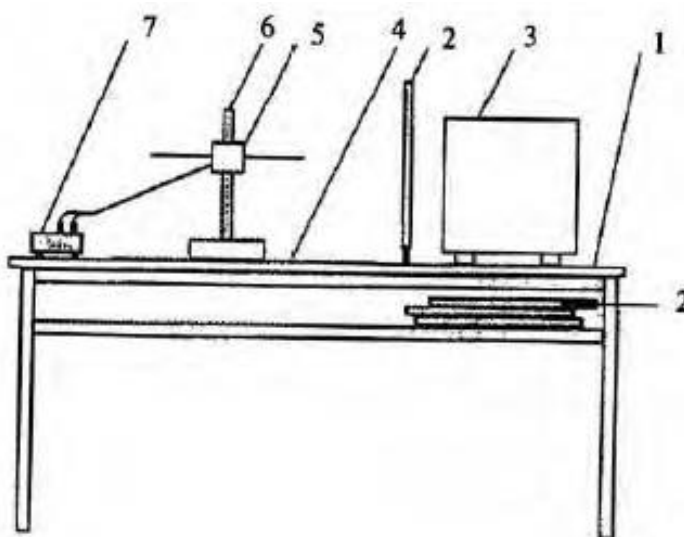


Рис.1 Внешний вид лабораторного стенда

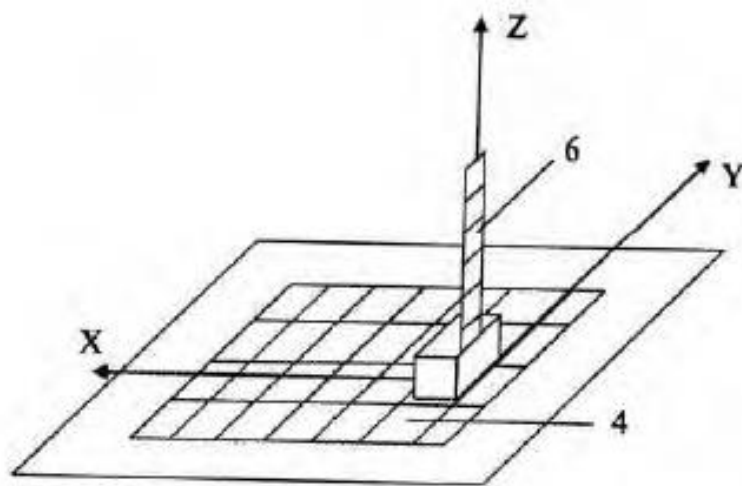


Рис.2 Координатное устройство

### Технические характеристики стенда

1 Диапазон плотности потока электромагнитного излучения в мучаемой зоне СВЧ-печи, мкВт/см <sup>2</sup>	0...120
2 Соотношение показаний мультиметра М 3900 и измерителя плотности потока ПЗ-19:	1мкА = 0,35 мкВт/см <sup>2</sup>
3 Значения перемещений датчика относительно СВЧ-печи, мм. не менее: по оси «X» по оси «Y» по оси «Z»	500 -250 300
4 Мощность СВЧ-печи, Вт, не более	800
5 Количество сменных защитных экранов	5
6 Размеры экранов, мм	(330 - 5) x (500 - 5)
7 Потребляемая мощность, В · А, не более:	1200
8 Цена деления шкал по осям X, Y, Z. мм	10-1
9 Габаритные размеры стенда, мм, не более: длина ширина высота	1200 650 1200

10. Масса стенда, кг, не более	40
11. Электропитание стенда осуществляется от сети переменного тока напряжением, В	220-22
частотой, Гц	50 - 0,4
12. Режим работы СВЧ-печи:	
продолжительность работы, мин, не более	5
продолжительность перерыва между рабочими циклами, с, не менее	30
уровень мощности	100%

Датчик 5 (см. рис.1) выполнен в виде полуволнового вибратора, рассчитанного на частоту 2,45 ГГц и состоящего из диэлектрического корпуса, вибраторов и СВЧ-диода.

Координатное устройство 4 выполнено в виде планшета, на который нанесена координатная сетка. Планшет приклеен непосредственно к столешнице 1. Стойка 6 изготовлена из диэлектрического материала (органического стекла), чтобы исключить искажение распределения СВЧ-поля.

В качестве нагрузки в СВЧ-печи используется строительный красный кирпич, устанавливаемый на неподвижную подставку, в качестве которой используется неглубокая фаянсовая тарелка, обеспечивающая стабильность измеряемого сигнала.

Сигнал с датчика 5 поступает на мультиметр 7, размещенный на свободной части столешницы 1 (за пределами координатной сетки).

На столешнице 1 имеются гнезда для установки сменных защитных экранов 2, выполненных из следующих материалов:

- ◆ сетка из оцинкованной стали с ячейками 50 мм;
- ◆ сетка из оцинкованной стали с ячейками 10 мм;
- ◆ лист алюминиевый;

- ◆ полистирол;
- ◆ резина.

### **3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

1. К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда, принципом действия и мерами безопасности при проведении лабораторной работы.
2. Запрещается работать с открытой дверцей СВЧ-печи.
3. Запрещается самостоятельно регулировать или ремонтировать дверь, панель управления, выключатели системы блокировки или какие-либо другие части печи. Ремонт должен производиться только специалистами.
4. Не допускается включение и работа печи без нагрузки. Рекомендуются в перерывах между рабочими циклами оставлять в печи кирпич. При случайном включении печи кирпич будет выполнять роль нагрузки.

### **4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

*Задание 1. Определить зоны наиболее интенсивного излучения в пространстве со стороны передней панели СВЧ-печи*

1. Подключить СВЧ-печь к сети переменного тока.
2. В печь на подставку (перевернутая тарелка) положить кирпич.
3. Установить режим работы печи в соответствии с паспортом на конкретную СВЧ-печь.

Для СВЧ-печи «Плутон» ее включение в рабочий режим осуществляется в следующей последовательности: открыть дверцу нажатием прямоугольной клавиши в нижней части лицевой панели; установить ручку «мощность» в крайнее правое положение; установить ручку «время» в положение 5 мин; плотно закрыть дверцу.

4. Разместить датчик на отметке 0 по оси X координатной системы.

Перемещая датчик по оси Y координатной системы и оси Z (по стойке с шагом 5 см), определить зоны наиболее интенсивного излучения и с помощью мультиметра зафиксировать их численные значения. Данные замеров занести в табл.5.

Разместить стойку с датчиком в зоне наиболее интенсивного излучения и, перемещая стойку по координате X (удаляя ее от печи до отметки 50 см), снять показания мультиметра дискретно с шагом 5 см. Показания занести в табл.6. Построить график зависимости изменения интенсивности поля по мере удаления от печи.

Таблица 5

Номер измерения	Значение Y, см	Значение Z, см	Интенсивность излучения (показания мультиметра), мкВт/см <sup>2</sup>
1			
2			
...			
n			

Таблица 6

Номер измерения	Значение X, см	Интенсивность излучения (показания мультиметра), мкВт/см <sup>2</sup>
1		
2		
...		
n		

*Задание 2. Определить эффективность экранирования для каждой экрана*

1. Разместить датчик в точке наиболее интенсивного СВЧ-излучения. Зафиксировать показания мультиметра.

2. Поочередно устанавливать защитные экраны и фиксировать показания мультиметра.

3. Определить коэффициент ослабления ЭМП (дБ) для каждого экрана по формуле

$$L = 10 \lg \cdot \frac{S}{S_3}$$

где  $S$  – фактическое значение плотности потока энергии, мкВт/см<sup>2</sup> при отсутствии экрана;

$S_3$  – плотность пока энергии (показание мультиметра, мкВт/ см<sup>2</sup>) при наличии экрана;

Результаты расчета занести в табл.7.

Таблица 7

Материал защитного экрана	Коэффициент ослабления ЭМП, дБ
1	
2	
3	

4. Построить диаграмму эффективности экранирования защитными экранами из различных материалов.

5. Выполнить расчет толщины экрана для защиты от СВЧ-излучений. При расчете принять  $f = 2,45$  ГГц. Исходное значение плотности потока энергии и материал для изготовления экрана задается преподавателем.

## Контрольные вопросы

1. Каковы источники электромагнитных полей в производственных условиях?
2. Какими параметрами характеризуются электромагнитные поля?
3. На какие диапазоны частот (длин волн) подразделяются электромагнитные излучения?
4. В чем состоит особенность негативного воздействия электромагнитных полей на человека?
5. В чем особенность негативного воздействия электромагнитных полей СВЧ-диапазона?
6. Назовите нормируемые характеристики электромагнитных полей промышленной частоты 50 Гц.
7. По каким характеристикам осуществляется нормирование воздействия электромагнитных полей в диапазонах частот: 10–30 кГц; 30 кГц - 300 ГГц?
8. В каких нормативных документах изложены гигиенические нормативы воздействия электромагнитных полей на человека?
9. Как рассчитать энергетическую экспозицию в диапазоне частот:  $> 30 \text{ кГц} - 300 \text{ МГц}$ ,  $> 300 \text{ МГц} - 300 \text{ ГГц}$ ?
10. Какие методы защиты от воздействия электромагнитных излучений применяют в производственных условиях?
- И. Как рассчитать толщину защитного экрана от воздействия электромагнитных излучений?
12. Какие материалы используются для изготовления защитных экранов от воздействия электромагнитных излучений?
13. Как определяется эффективность экранирования электромагнитных излучений?
14. Каков порядок измерения параметров ЭМИ мультиметром?
15. Каков порядок гигиенической оценки воздействия электромагнитного поля СВЧ-диапазона?

