

1 9.1. Мониторинг шумового загрязнения

Одним из важнейших физических видов загрязнения окружающей природной среды является акустический шум. Шум представляет собой беспорядочное сочетание звуков — механических колебаний в области частот от 16 до 20000 Гц, воспринимаемых ухом человека. Его источниками являются всевозможные движущиеся объекты, а его действию подвергаются люди в условиях производства, на улице и в быту.

Исследованиями установлено, что по степени вредности воздействия шуму принадлежит второе место после химического загрязнения окружающей среды. Шум оказывает влияние на слух, на центральную нервную и сердечно-сосудистые системы, а с ними и на весь организм человека. Люди, подверженные действию шума, быстро утомляются, у них часто одышка, боли в сердце, сердцебиение, неустойчивость кровяного давления, психические расстройства, изменения желудочно-кишечного тракта и другие заболевания. Совокупность этих симптомов, появляющихся у человека под воздействием шума рассматривают как «шумовую болезнь».

Особенно вредное влияние на организм оказывают импульсные и инфразвуковые источники звука, где среди других присутствуют колебания с частотой ниже 16 Гц и с динамическим диапазоном до 75 — 85 дБ, ухудшающие условия труда и отдыха населения. Так, ин-

тенсивные инфразвуки с частотой порядка 7 Гц, совпадающей с так называемым «альфа-ритмом мозга», влекут серьезные функциональные нарушения здоровья человека. Эти шумы присущи производству (клепка, штамповка, ткачество, работа двигателей и др.), транспорту (движение самолетов, автомобилей, катеров, поездов и др.) и бытовым условиям проживания людей (работа пылесосов, стиральных машин и, особенно музыкальной аппаратуры с современными сверх низкочастотными трактами и акустическими системами высокой мощности).

Основным источником шума, оказывающим влияние на большинство из нас, являются транспортные потоки. Динамический диапазон их акустического шума составляет 75 — 85 дБ (болевые пороги слуха — 95 дБ для частоты 100 Гц и 120 дБ для 1000 Гц). Вблизи автомагистралей шум в течение 15 — 18 часов на уровне 50 — 70 дБ воздействуют на организм человека, ухудшая условия его труда и отдыха.

По данным Госкомсанэпиднадзора России, в 1996 г. на производстве воздействию сверх допустимых уровней подвергались 37,4% работающих на 58% предприятий, на транспорте — соответственно 50,8 и 61,6% (самые высокие показатели). Для объектов коммунального хозяйства, пищевой промышленности, общественного питания и торговли эти цифры несколько меньше. В городах обстановка по фактору шума более неблагоприятна, чем в сельской местности. Согласно результатам наблюдений, доля городов и сельских населенных пунктов с превышением допустимого уровня шума в жилых и общественных зданиях составляет, соответственно, 23,1 и 7,3%. Неблагоприятную акустическую обстановку, особенно в крупных городах, в районах жилой застройки создают объекты железнодорожного транспорта и аэропорты. Следует отметить, что реальная картина акустического загрязнения окружающей среды пока не ясна. Центры Госкомсанэпиднадзора России не располагают средствами измерений в достаточном количестве, а по причине дефицита финансирования не в состоянии приобрести новые [42].

Уровень шумового загрязнения можно измерять с помощью специальных приборов — шумомеров. Од-

нако в задачах школьного мониторинга этот метод измерения мало применим из-за дефицитности и дороговизны шумомеров. Поэтому ниже описывается простая методика измерения шума с использованием устройств, которые имеются практически в любом кабинете физики — это кассетный магнитофон и авометр. Проведение такого гигиенического мониторинга акустического шума, производимого автотранспортом и предприятиями в микрорайоне своей школы осуществляется учениками под руководством учителя физики. Методика исследований состоит из двух этапов — записи акустического шума на магнитофон и его анализа в лабораторных условиях любым из предложенных ниже методов.

Проведение мониторинга шума

1. Проведение предварительного обследования территории.

На территории микрорайона школы выбирается ряд контрольных точек (одна или несколько), где будут проводиться наблюдения (наиболее шумные места, важные для жизни людей или просто более удобные для периодических исследований шума). Этим точкам присваивают номера и их наносят на план-карту микрорайона школы.

2. Определение конкретного времени проведения периодических наблюдений. Поскольку уличные шумы крайне неравномерны в разные периоды времени, то выбранное время должно быть всегда одним и тем же, что дает возможность сравнения шумового уровня территорий, а также проследить динамику шума на одной и той же территории. Кроме того, время измерения должно быть удобным для учащихся.

Периодичность исследований шума устанавливается в зависимости от задач исследовательской группы — раз в неделю, раз в месяц, в сезон, в год. В журнал результатов наблюдений мониторинга заносится для каждого объекта: час, день недели, месяц и год измерения шума.

3. Первый этап исследований шумового загрязнения в каждой точке наблюдения заключается в записи акустического шума на переносный магнитофон без автоматической регулировки уровня записи (APУЗ), или

с отключенной APУЗ. Уровни записи и тембра устанавливаются в постоянное положение и в дальнейшем, при проведении мониторинга, они всегда остаются одинаковыми. Их положение заносится в журнал, куда записывается и марка микрофона (при использовании внешнего микрофона).

Время записи шумов на улице составляет обычно 10—15 минут. В микрофон по окончании записи шумов сообщается номер объекта, час, день недели, месяц, год и фамилии учеников, проводивших исследование. Запись служит документом мониторинга шумового загрязнения.

Настройка каждого из таких приборов для записи шума делается при проведении предварительных исследований и заключается в выборе положений всех регуляторов магнитофона, с записью в лабораторном журнале.

4. Второй этап исследований шумового загрязнения — это наиболее ответственная часть мониторинга. Анализ и оценка записанных на пленку шумов (шумометрия) проводится в кабинете физики на базе стандартного оборудования школьного физического кабинета. Здесь могут быть использованы несколько подходов для измерения интенсивности записанного шума.

Акустический метод сравнения

Акустический метод сравнения (фонометрия шума) является субъективным методом определения громкости шума путем сравнения его с чистым тоном.

Для этого метода необходим школьный звуковой генератор, к выходу которого подключен громкоговоритель (всегда один и тот же). Параллельно громкоговорителю включается вольтметр, например школьный авометр для контроля напряжения звуковой частоты. Частота выбирается всегда одна и та же (например 1000 Гц). Громкоговоритель и магнитофон располагаются рядом, чтобы оба звука воспринимались одновременно.

Ход работы

Магнитофон включается на воспроизведение записанного на улице шума. Ручки регуляторов громкости и тембра устанавливаются в строго определенном положении (всегда одинаковом), например: уровень

громкости — 2 деления, регуляторы тембра выведены на максимум.

На школьном звуковом генераторе с помощью регулятора уровня звука устанавливается интенсивность звука так, чтобы оба звука (из магнитофона и громкоговорителя) были одинаковой громкости. Тогда уровни шума и сигнала сравнения будут считаться равными. Показания вольтметра, контролирующего напряжение звуковой частоты, записываются в лабораторный журнал. Измерения проводят не менее 10 — 20 раз и рассчитывается среднее значение. Это среднее напряжение и характеризует уровень шума в точке, где проводилась запись.

Отметим, что акустический метод сравнения можно реализовывать и посредством наушников, у которых один из телефонов подключен к звуковому генератору, а другой к магнитофону.

Акустометрический метод

Акустометрический метод является объективным способом определения громкости шума по уровню электрического сигнала.

Магнитофон включают на воспроизведение шума (ручки всех регуляторов в стандартном, строго определенном положении), к его выходу через согласующее устройство подключается вольтметр (школьный авометр, или гальванометр, включаемый через добавочное сопротивление). Согласующее устройство предназначено для некоторого сглаживания шума. Оно представляет собой обычный выпрямитель напряжения шума (диод из школьного набора полупроводников) со сглаживающим фильтром, состоящим из резистора и конденсатора (можно использовать конденсатор — магазин емкостей на 64 мкФ из школьного набора). Параметры фильтра (номиналы емкости конденсатора и значения сопротивления резистора) подбираются экспериментально. Эти значения остаются всегда одними и теми же и вносятся в лабораторный журнал.

Ход работы. Включается магнитофон в режиме воспроизведения шума, производится отсчет среднего положения колеблющейся стрелки (в единицах напряжения) и записывается в журнал. Измерения проводят 10 — 20 раз, после чего рассчитывается среднее

значение напряжения, которое и характеризует уровень шума в точке, где проводилась запись шума.

Компьютерный метод

Появление в школах компьютеров позволяет проводить наиболее точную оценку уровня громкости шума по характеристикам его электрического сигнала. В этом методе магнитофон включают на воспроизведение записанного на улице шума (ручки всех регуляторов в стандартном, строго определенном положении). К его выходу подключается вход звуковой карты компьютера. Шумовой сигнал поступает в компьютер и обрабатывается с помощью стандартных программ. Это позволяет получить значения средней мощности и спектра шума. Все характеристики шумов записываются и хранятся в файловом виде. Проведение оценок изменений в мониторинге акустического шума производится непосредственно компьютером, путем сопоставления файлов, полученных в разное время.

В заключение отметим, что те, кто любит мастерить, могут самостоятельно изготовить портативный шумомер для оценки уровней шума непосредственно в точках мониторинга. Не останавливаясь на бесчисленных возможностях конкретных конструкций прибора, поясним его структурную схему. Такой шумомер состоит из микрофона (например пьезоэлектрического капсюля), усилителя шумовых сигналов (на базе операционного усилителя), выпрямителя переменного напряжения (диода), активного фильтра (на базе операционного усилителя), стрелочного индикатора (микроамперметра) и источника питания (батарейки).

Ниже приводится описание испытанного на практике и хорошо зарекомендовавшего себя способа измерения шума акустометрическим методом.

Рекомендуемый метод шумометрии

Ход работы

Цель: исследование шумового загрязнения школы, микрорайона.

Оборудование: кассетный магнитофон (например, «Романтик-306»), многопредельный авометр (например, Ц-4317), таймер (в качестве таймера можно использовать любое фотореле, используемое в фотолaborатории

или простейший самодельный релаксационный генератор, например на основе динистора).

Порядок выполнения работы:

1 этап. Запись акустического шума на магнитофон

1. На территории своего микрорайона выбираются контрольные посты (точки наблюдений). Эти точки нумеруют и их местоположение наносят на план микрорайона школы.
2. Заранее устанавливаются конкретное время исследований шума (час, день недели, месяц) и периодичность измерений (раз в неделю, раз в месяц, в сезон, раз в год). Время наблюдений должно быть всегда одним и тем же, оно заносится в журнал мониторинга для каждого контрольного поста — час, день недели, месяц и год.
3. С помощью переносного магнитофона вначале записывается **наиболее шумный объект** (например, шумная улица). При записи ручку «Уровень записи» необходимо установить так, чтобы стрелка индикатора уровня не заходила за критическую отметку (на красное деление).
4. **Положение регулятора уровня записи заносится в журнал и в последующих записях сохраняется.** Запись шума производится в течение **10—15 мин.**

2 этап. Анализ шума в лабораторных условиях

Анализ записанных на пленку шумов (шумометрия) проводится акустометрическим методом стандартным школьным оборудованием кабинета физики.

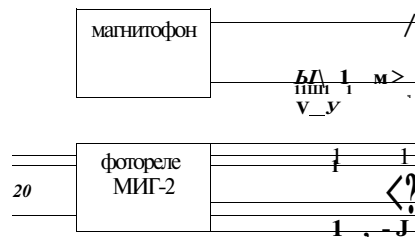


Рис. 9.1. Блок-схемы установки для анализа шума

Уровни силы тока выходного сигнала магнитофона, включенного на режим воспроизведения шума (ручки регуляторов громкости и тембра устанавливают в

положении максимума), измеряют школьным авометром, включенным последовательно с динамиком. Авометр включается в режиме измерения переменного тока. Для удобства работы (приглушения шума) магнитофон можно установить в коробку и закрыть тканью. Сила тока измеряется через равные промежутки времени 5—10 секунд в течение всей записи. Пределы измерения силы тока на авометре выбираются в зависимости от интенсивности звука, записанного на магнитофон.

В качестве таймера можно использовать фотореле (например, МИГ—2). К выходу фотореле вместо фотоувеличителя подключается настольная лампа. При ее включении фиксируется отклонение стрелки прибора.

Анализ шума проводят два человека. Один фиксирует отклонения стрелки прибора и сообщает другому, который заносит значения силы тока (делений шкалы) в рабочую тетрадь. Для удобства лучше заносить вначале количество делений шкалы измерительного прибора, а затем с учетом цены деления шкалы прибора перевести в значения силы тока. Каждый объект анализируется по три раза.

Результаты измерений оформляют в виде таблицы (табл. 9.1).

Пример оформления результатов измерений

Опыт №1. Шумная улица. Измерение №1.

Прибор: авометр Ц—4317

Предел 1А.

Таблица 9.1.

Время t, с	5	10	15			600
число делений шкалы						
сила тока I, А	0,58	0,72	0,74			0,72
МОЩНОСТЬ Pcp, Вт	1,8	2,1	2,2			2,1

Зная значения силы тока и сопротивление динамика, рассчитываются мощности для выбранных интервалов времени.

Результаты измерений обсчитывают по формуле

$$P = PR,$$

где P — мощность на выбранных интервалах времени, Вт,

R — сопротивление динамика, Ом,
I — сила тока, А.

3 этап. Обработка результатов измерений

По полученным значениям мощностей строится график зависимости мощности шума $P(Br)$ от времени $t(c)$. Вертикальная ось мощности шума P разбивается на несколько (10 — 20) секторов, которые нумеруются. (рис. 9.2).

Для каждого сектора зоны подсчитывается количество точек, соответствующих определенному интервалу мощностей шума, p_i .

По полученным результатам строится график — гистограмма. По горизонтальной оси откладываются номера этих секторов или мощности шума. Каждому сектору соответствует определенное значение мощности. По вертикальной оси откладываются отношение числа точек в зоне p_i к общему количеству точек N (p_i/N) или это отношение выраженное в процентах (p_i/N) • 100% (рис. 9.3).

Используя гистограмму, рассчитывают средневзвешенное значение мощности шума по формуле:

$$P_{cp} = S_{p_i} \times (n^N),$$

где P_{cp} — средневзвешенное значение мощности,
 N — общее количество точек,
 P_i — мощность, соответствующая сектору i ,
 n_i — число точек в секторе i .

4 этап. Оценка и анализ результатов измерений

Отметим, что по данной методике можно количественно оценивать значения интенсивности звука в пределах от 40 (читальный зал) до 80 (шумная улица) дБ. При этом исключаются звуки наименьшей и наибольшей интенсивностей, так как магнитофон не может охватить по интенсивности весь звуковой диапазон.

По полученным трем значениям средневзвешенных мощностей определяется среднее значение мощности и оцениваются результаты измерений — вычисляются абсолютная и относительная погрешности рассеяния.

При выборе количества секторов мощностей около 20 данная методика позволяет определять средне-

Шумная улица, 1-е измерение

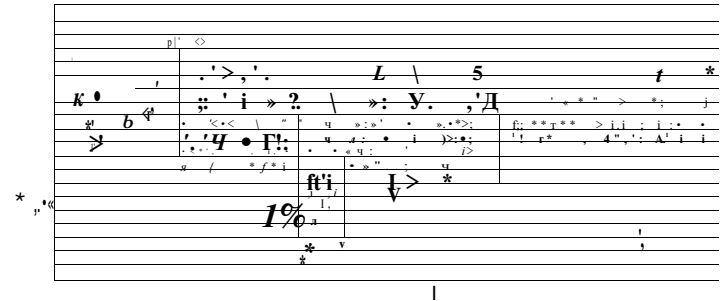


Рис. 9.2. Распределение экспериментальных точек по секторам

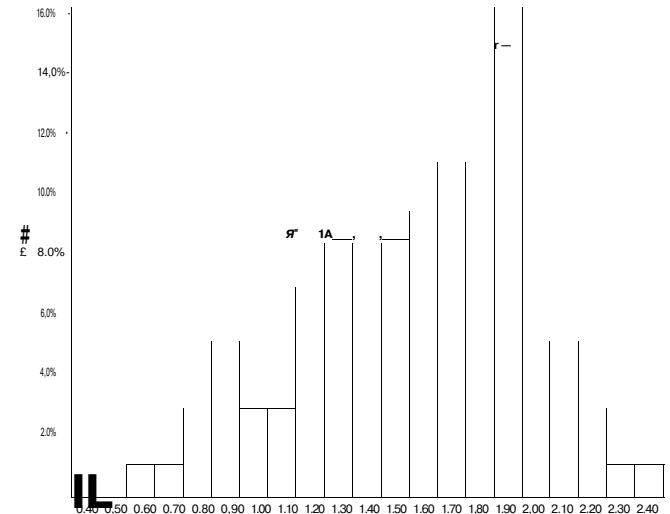


Рис. 9.3. Гистограмма спектра мощности шума исследуемого объекта

взвешенные значения мощностей с относительной погрешностью рассеяния порядка 2 — 5%.

Из гистограммы видно, что среднее значение мощности шума, которое присуще данному объекту, соответствует максимальным значениям отношений n/N (самые высокие столбцы на гистограмме — ее огиба-

»
СП

ющей). Гистограммы наглядно показывают, звуки какой мощности наиболее характерны для данного объекта. Для каждого объекта они имеют свой вид, например, для читального зала самые высокие столбцы гистограммы смещены в область малых мощностей, а для шумной улицы, наоборот — в область больших мощностей.

Поскольку динамический диапазон интенсивности звука достаточно широк, целесообразно введение логарифмической шкалы. По этой шкале звук измеряется в уровнях интенсивности (уровнях громкости) в децибелах. Поэтому при оценке результатов измерений, полученных данным методом, может возникнуть необходимость сравнения этих результатов с другими данными, где результаты представлены в децибелах. В этом случае возникает необходимость иметь результаты измерений средневзвешенной мощности в децибелах.

Для грубой оценки можно предложить следующий метод — графический. Экспериментально определяются значения средневзвешенных мощностей для 3-х объектов, например шумная улица, шумное помещение, читальный зал. Известны для этих объектов уровни шума в децибелах (эти данные можно взять из справочника по физике). Так, например, уровень шума для шумной улицы 80 дБ, шумного помещения — 70 дБ, читального зала — 40 дБ. Из экспериментальных данных рассчитываются логарифмы средневзвешенных мощностей: шумная улица, $1dP_{cp} = 0,43$, шумное помещение, $1dP_{cp} = -0,44$, читальный зал, $1dP_{cp} = -3,8$. По этим данным строится график — по вертикальной оси откладывается логарифм средневзвешенной мощности, по горизонтальной — уровень шума в децибелах.

Используя график, можно перевести значения средневзвешенных мощностей, полученных при шумомерении с помощью магнитофона, в уровни шума в децибелах для интервалов от 40 до 80 дБ (рис. 9.4).

Отметим, что для более точного перевода средневзвешенных мощностей в уровни шума в дБ необходимо использовать шумомер, которым располагают службы санэпиднадзора, используя вышеизложенный метод.

lgP

0.43
-0.44

-3.8

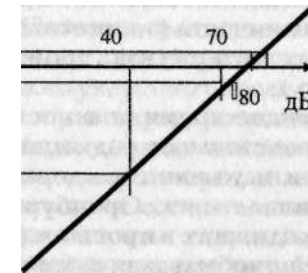


Рис. 9.4. График для перевода средневзвешенной мощности в децибелы

5 этап. Отчетность

Для каждого поста наблюдений подсчитывают средневзвешенное значение мощности шума, которые заносят в графы экопаспорта (табл. 9.2).

Таблица 9.2.

Мощность шума на территории микрорайона школы

№ поста	Пост наблюдения (местонахождение)	Время наблюдения (час, день недели, месяц и год)	Мощность P_{cp} , Вт	Относит, погрешность DP_{cp}/P_{cp} , %

1 9.2. Методика радиоэкологического мониторинга

Зачем нужен радиологический мониторинг

Уровни ионизирующего излучения в окружающей среде, действующего на все живые организмы, в том числе и на человека, не одинаковы на разных территориях и не постоянны во времени. В такой громадной стране, как Россия, всегда можно найти места многократно различающиеся по радиационному фону. Причинами возникновения в данной местности более высокого уровня радиоактивного излучения могут быть как естественные источники — космическое из-

лучение, радиоактивные элементы, содержащиеся в горных породах, продукты их распада, рассеянные в окружающей среде, так и искусственные — радиационное воздействие, связанное с деятельностью атомной промышленности (энергетикой, переработкой радиоактивных материалов, производством ядерного оружия и др.).

В настоящее время опасность для всего живого на Земле представляют радиационные «следы» — от взрывов при испытаниях ядерного оружия (Новая Земля, Семипалатинск, Оренбург) и атомных катастроф, происходивших в прошлом (Кыштымская, Кара-чаевская и Чернобыльская аварии). С территорий, где произошло загрязнение, ветрами поднимается радиоактивная пыль, которая переносится на расстояние многих сотен и тысяч километров. Следы Чернобыля обнаруживаются даже в Антарктиде. Этот процесс переноса радиоактивных веществ по Земле происходит в наши дни, будет продолжаться и в обозримом будущем.

Во всех крупных городах санитарно-эпидемические службы (СЭС) проводят радиологический мониторинг — постоянный контроль радиоактивности окружающей среды — воздуха, воды, почв сельскохозяйственных угодий, а также продуктов питания населения. Однако не все радиационные «следы» могут быть отслежены СЭС — большинство поселков, сел и малых городов, а тем более лесных угодий, садовых участков и огородов не обследуются. Кроме того, перенос ветром загрязнений с места выпадений радионуклидов чаще всего имеет кратковременный характер, а выпадения радиоактивной пыли могут происходить и на небольших территориях. Такие события и территории сотрудники СЭС просто физически не в состоянии контролировать.

Для контроля радиационной обстановки на конкретной (небольшой) территории — в своем поселке, микрорайоне школы, в школьном кабинете, необходимо регулярно проводить измерения радиоактивности — школьный радиологический мониторинг. Методика проведения радиологического мониторинга достаточно проста, требует обычного оборудования школьного кабинета физики.

Что такое спектрометрия ионизирующего гамма-излучения

Различные атомные ядра при радиоактивном распаде испускают гамма-кванты, обладающие разным уровнем энергии. Поэтому, если удастся измерить величину энергии гамма-кванта, то, заглянув в специальные таблицы, можно уверенно определить его «происхождение» — массу и заряд распавшегося ядра. Различные ядра, распадаясь, испускают кванты различной энергии, которые, в свою очередь, взаимодействуют с веществом, изменяя и состав частиц и их энергию. Регистрируя такое гамма-излучение, можно по участкам электромагнитного спектра определять, какие конкретно радиоактивные элементы присутствуют в исследуемом объекте.

На практике каждый гамма-квант с высокой энергией обычно преобразуют в т. н. «конверсионные фотоны» видимого света при их попадании в специальную среду — сцинтиллятор (например монокристаллы NaI, CsI, растворы некоторых органических веществ). Конверсионные фотоны, в свою очередь, попадают на приемник видимого света, например фотокатод фотоэлемента, и в нем возникает импульс тока. Количество конверсионных фотонов прямо пропорционально энергии гамма-кванта, и величина импульса тока, проходящего через фотоэлемент, будет также пропорциональна энергии гамма-кванта.

На этой пропорциональности и основана спектрометрия ионизирующего гамма-излучения — основное средство для определения изотопного состава источников радиоактивного излучения. Считая импульсы тока с той или иной амплитудой определяют, тем самым, какая доля гамма-квантов с той или иной энергией находится в спектральном составе ионизирующего излучения.

Как проводится спектрометрия гамма-излучения

Экомониторинг воздушной среды в условиях школы (спектрометрию гамма-излучения) можно осуществлять на базе стандартного школьного оборудования — счетчика Гейгера с усилителем, выход которого соединен с микроамперметром (например школьного авометра). В таких экспериментах помимо интенсивности

счета импульсов можно провести и оценку идентичности изотопного состава радионуклидов в окружающей среде, сравнивая амплитудные спектры по амплитудам на данный момент и в прошлых измерениях.

Методика сравнения гамма-излучения радиоактивных элементов, рассеянных продуктов их распада и космических лучей основана на предположении, что одинаковые источники и условия излучения должны давать одинаковые амплитудные спектры импульсов счетчика Гейгера. Амплитуда импульса пропорциональна энергии гамма-квантов, поэтому, чем больше число частиц с данной энергией регистрируется, тем большее число импульсов данной амплитуды будет на выходе измерительного прибора, шкала которого разбита на 10 секторов.

Изменения гамма-излучения радиоактивных элементов, например появление новых изотопов, вызывают изменения относительного числа импульсов в разных интервалах. Проводят подсчет числа импульсов в каждом интервале (по броскам стрелки прибора) и строят график в координатах «интервалы амплитуд — число импульсов, попавших в данный интервал».

Имеющийся в школах счетчик заряженных частиц представляет собой прибор, основными частями которого являются счетчик Гейгера (типа СТС — 5) и источник питания. Он предназначен для регистрации α -лучей и жесткого γ -излучения (с энергией более 0,5 Мэв). Трубка счетчика заполнена смесью газов (неон с добавкой аргона и одного из галогенов), на его катод подается отрицательный потенциал, а нить (анод) соединяется с положительным полюсом источника тока.

При небольших напряжениях величина импульса зависит как от рода пролетающей частицы, так и от величины напряжения на электродах. Чем напряжение выше, тем менее вероятен процесс рекомбинации ионов. При повышении напряжения величина импульсов начинает расти за счет вторичной ионизации, в результате чего вместо каждого первичного электрона на анод приходит целая лавина.

Счетчик, работающий в таком режиме, называется «пропорциональным счетчиком», он и используется в нашем случае. Для счетчика СТС — 5 область напряжений составляет от 300 В до 360 В.

При прохождении гамма-кванта газ в счетчике ионизируется. Импульсы тока, проходя через резистор R, создают импульсы напряжения. Эти импульсы поступают через разделительный конденсатор C на школьный усилитель низкой частоты (УНЧ).

На выходе УНЧ через импульсный диод (например Д 219А) импульс поступает на микроамперметр (со шкалой на 100 μ А и с сопротивлением головки около 500 Ом). Таким сопротивлением обладает, например, микроамперметр авометра Ц20 или микроамперметры М24.

Измерения электрического импульса проводятся т. н. баллистическим методом, основанном на том, что под действием электрического импульса стрелка микроамперметра отклоняется на угол, прямо пропорциональный величине этого импульса.

В баллистическом режиме может работать любой магнитоэлектрический измерительный прибор. В нашем случае это микроамперметр. Нужно лишь, чтобы время прохождения импульса тока было много меньше периода колебаний рамки микроамперметра.

Мониторинг радиологической обстановки

По результатам измерений строится график распределения числа частиц от энергии гамма-кванта в виде зависимости числа импульсов (бросков стрелки) от номера сектора. Огибающая такого спектра энергий гамма-квантов обычно имеет вид выпуклой кривой — «колокола» и используется для оценки постоянства изотопного состава.

Первой оценкой для задачи мониторинга радиологической обстановки является общий радиационный фон в данное время (в импульсах в минуту). Его расчет производится по формуле:

$$A = (i_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n) / t,$$

где t — время измерений, мин; P_i — число отсчетов (бросков стрелки) в i -м секторе амплитуд.

Проводя сравнение полученного при измерении в данный момент значения общего радиационного фона с предыдущими результатами, а также со средними значениями, можно сделать вывод об изменении радиационной обстановки.

Второй оценкой в задаче мониторинга радиологической обстановки является контроль изменения состава изотопов в окружающей среде. Для этого по результатам измерений строится график зависимости количества отсчетов от амплитуд импульсов (по интервалам). На графике отображается экспериментальная оценка спектра энергий гамма-квантов.

Типичный пример двух (среднего за год и экспериментально полученного в данный день) спектров отсчетов — оценок распределений числа частиц по амплитудам импульсов (энергиям гамма-квантов) приведен на рисунке (рис. 9.5). Отчетливо видно смещение в данный день максимума среднего значения в 4-й сектор шкалы, от среднего за год (3-й сектор). То же можно сказать и о сдвиге максимальных значений импульсов (с 7 на 9 сектор).

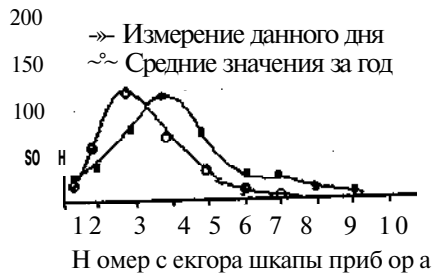


Рис. 9.5. Энергетические спектры гамма-квантов

1. Полученный из графика максимум спектра является индикатором средних значений энергий гамма-квантов. Его смещение говорит об изменении средних значений энергии излучения в результате появления в окружающей среде изотопов другого состава.

Проводят сравнение максимума спектра радиационного фона, полученного при измерении в настоящее время, со сделанными ранее. Делается вывод об изменении основной доли гамма-квантов в энергетическом составе излучения.

2. Область в правой части графика, где огибающая спектра энергий приближается к горизонтальной оси, является верхней границей спектра. Она индицирует максимальные энергии гамма-квантов ионизирующего излучения.

На основании сравнения верхней границы спектра радиационного фона, полученного при измерении в настоящее время, с предыдущими результатами, делается вывод об изменении в энергетическом составе излучения — исчезновении или появлении гамма-квантов с наибольшей энергией.

3. Для задач мониторинга необходима количественная оценка различий ионизирующего излучения. Для измерений, проводимых в разное время, можно сделать расчет показателя «различий» спектров p , характеризующего изменение условий распада изотопов в различных условиях окружающей среды — например в разное время года или в различных помещениях школы, по формуле:

где $ПЦ$ и n_i — количества отсчетов i -го интервала амплитуды в первом и втором случае.

Формула применима для одинакового времени измерения (например 30 мин). С ростом b различия в составе изотопов возрастают, а при $b = 0$ — радиационная обстановка не изменилась.

4. Рекомендуемая периодичность измерений при исследовании ионизирующих излучений в воздухе по программе радиологического мониторинга — 1 раз в неделю.

5. Исследования спектра излучений, проводимые в один день в одном и том же помещении показывают их хорошую воспроизводимость. Схожи как сами формы спектров импульсов тока, так и положения максимумов.

Однако измерения в различных помещениях зданий показывают изменение формы и самого спектра и смещение максимума. Это позволяет рассматривать график средних значений как «радиационный портрет» помещения. Эти «портреты» различаются при измерениях на разных этажах, а также в подвале здания, где выход радона из грунта максимален, а проветривание помещения проводится редко.

Методика проведения работы

Цель работы. Проведение оценки изменения радиационного фона.

Задачи работы:

- сборка и настройка экспериментальной установки по схеме на рис. 9.6, 9.7;
- проведение измерений и оценка радиационного фона;
- расчет изменения спектра ионизирующего излучения и оценка отличий результатов от полученных в данных условиях, но в другое время.

Оборудование:

- счетчик Гейгера СТС — 5 (или СТС — 6);
- источник питания : ВУП — 2;
- усилитель низкой частоты: УНЧ — 3;
- микроамперметр М — 24 (сопротивление головки $r = 690 \text{ Ом}$, 100 цА , класс точности 1,5).

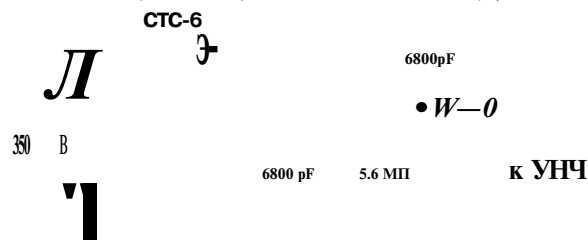


Рис. 9.6. Схема счетчика Гейгера

$R = 5,6 \text{ МОм}$, $C_1, C_2 - 4700 - 6800 \text{ пФ}$
(например КСО — 5).

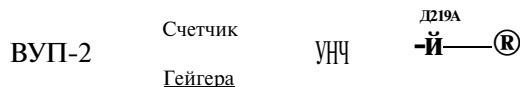


Рис. 9.7. Блок-схема установки

Ход работы

1. Весь интервал амплитуд (вся шкала измерительного прибора, имеющая 100 делений) разбивается на 11 секторов (0-10, 10-20 ... 90- 100, более 100 делений).

Как показывает опыт, эксперимент желательно проводить вдвоем. Первый исследователь ведет отсчет — регистрацию импульса, и при его появлении, вслух сообщает второму человеку номер сектора, в

котором произошла регистрация события (например «пятый», «десятый», и т. д.).

Второй исследователь записывает эти сообщения в таблицу. В столбец таблицы им ставится галочка (или точка) в соответствующий сектор — с первого по одиннадцатый, где наблюдался бросок стрелки.

Таблица 9.3.

Результаты измерения энергетического спектра гамма-квантов

Дата и место измерения		Секторы шкалы микроамперметра				
		1	2		10	11
	Галочки — броски стрелки в данном секторе					
	Общее число бросков стрелки в данном секторе (за 30 мин.)					

2. Настройка установки.

а) Для того чтобы уменьшить погрешность, измерения должны вестись с использованием всей шкалы прибора, то есть максимальные отклонения стрелки должны достигать в некоторых случаях предельного отклонения.

б) При исследованиях излучений в воздухе ручка регулятора громкости усилителя (УНЧ) устанавливается **всегда в одно и то же положение**. Установка считается настроенной, если большинство бросков стрелки приходится примерно на середину шкалы микроамперметра (и лишь редкие «зашкаливают»). Это позволяет получать графики результатов измерений, имеющие форму «колокола». Максимум этого «колокола» соответствует энергии гамма-квантов, наиболее часто проходящих через счетчик.

в) Настройка установки для мониторинга в значительно различающихся условиях — например в кабинете физики и в подвале школьного здания (где уровень радиации обычно значительно выше за счет накопления радона), может потребовать различного положения ручки настройки уровня, а также дополнительной градуировки для сопоставления данных.

3. Производится подсчет числа импульсов (бросков стрелки микроамперметра) в каждом секторе. Для уменьшения статистической погрешности измерений общее время подсчета должно быть не менее 20 — 30 минут.

4. Результаты подсчета числа импульсов в каждом секторе, полученные в данном эксперименте и занесенные в таблицу, сравниваются:

- с результатами, полученными во время предыдущего измерения радиационного фона;
- со средними результатами, полученными в прошлом, за некоторый период измерений (например, средние за месяц, год).

5. Делается расчет показателя «сходства» спектров и вывод об изменении изотопного состава.

Оформление результатов измерений

1. Рассчитывается общий радиационный фон за время 20 — 30 минут. Уровень общего фона (в имп/мин), дату и место измерения (помещение класса, подвал) заносят в журнал мониторинга.
2. По результатам измерений строится график (оценка спектра энергии гамма-квантов). Вдоль горизонтальной оси откладывают номера секторов с первого по одиннадцатый (или интервалы амплитуд в делениях шкалы прибора), а по вертикальной оси — количество отсчетов (бросков стрелки). Отмечаются следующие результаты, с занесением в лабораторный журнал радиологического мониторинга.
 - а) Положение максимума в спектре количества отсчетов (индикатор средних значений энергии гамма-квантов в данных условиях).
 - б) Положение верхней границы спектра (индикатор максимальной энергии гамма-квантов ионизирующего излучения в данных условиях).
3. Проводят (по лабораторному журналу) сравнение со средними данными и предыдущими измерениями.
4. Делается вывод о динамике изменений радиологической обстановки, который записывается в лабораторный журнал.