

1. РАДИОМЕТРИЯ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

Анализ инертных газов, меченных радионуклидами приходится проводить при изучении процессов деления урана (при делении урана образуются многочисленные радиоактивные изотопы радона и ксенона), при диагностике процессов распухания ядерного топлива (свеллинга), при использовании ядерных реакций с образованием благородных газов для регистрации нейтронов, в исследовании процессов диффузии, газопроницаемости и термодесорбции инертных газов в полимерах, при использовании некоторых вариантов эманационно-термического анализа.

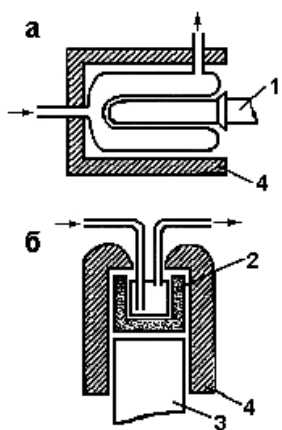


Рис.3. Камеры, используемые для измерения скорости выделения γ -активных инертных газов (например, ^{133}Xe), снабженные счетчиками Гейгера-Мюллера (а) или γ -сцинтилляционным кристаллом, связанным с фотоумножителем (б) 1 - счетчик Гейгера-Мюллера, 2 - сцинтиллятор, 3 - фотоумножитель, 4 - свинцовая защита.

Радиоактивным является ^6He (β^- , 3,5 МэВ, $T=0,8$ с), два изотопа неона ^{23}Ne (β^- , 4,4 МэВ, γ , 0,44 МэВ, $T=38$ с) и ^{24}Ne (β^- , 2,0 МэВ, γ , 0,87 МэВ, $T=3,38$ мин), четыре изотопа аргона (например, ^{41}Ar (β^- , 1,2 МэВ, γ , 1,3 МэВ, $T=1,83$ ч)), пятнадцать изотопов криптона (например, ^{85}Kr (β^- , 0,7 МэВ, $T=10,76$ с)), девятнадцать изотопов ксенона (например, ^{133}Xe (β^- , 0,3 МэВ, γ , 0,081 МэВ, $T=5,29$ с)). Все они – бета и гамма-излучатели (изотопы радона – альфа-излучатели – мы рассмотрим в отдельной главе).

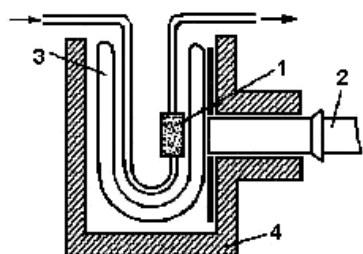


Рис. 4. Интегральная камера со сцинтилляционным детектором: 1 - охлаждаемая ловушка с углем, 2 - торцовый счетчик Гейгера-Мюллера или сцинтилляционный детектор, 3 - сосуд Дьюара, 4 - свинцовая защита.

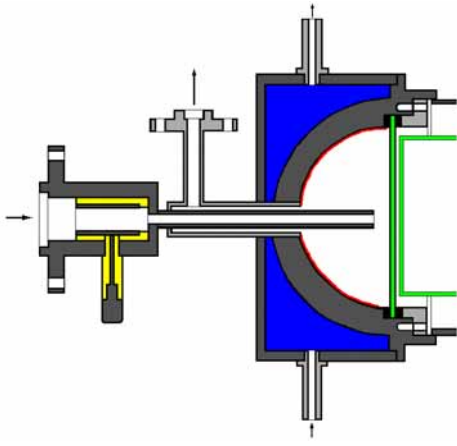
Как правило, для регистрации техногенных радиоактивных инертных газов используют обычные счётчики радиоактивных излучений, смонтированные таким образом, чтобы радиоактивный газ омывал детектор. Газообразные радионуклиды с низкоэнергетическим излучением должны поступать непосредственно в детектор - тупиковый и проточный. Использование ионизационных камер для измерения активности газов обеспечивает высокую чувствительность, но эффективность счёта зависит от химической природы измеряемого газа, а так же от газа-носителя и присутствия других газообразных компонентов (например, водяных паров или органических примесей). Эти же замечания относятся и к работе с проточными счётчиками Гейгера-Мюллера. Эффективность измерений с помощью внешнего счётчика Гейгера-Мюллера, сцинтилляционного и полупроводниковых детекторов почти не зависит от наличия примесей в газе-носителе. Эти детекторы, следовательно, можно использовать при регистрации газов в присутствии паров органических веществ и воды.

Рис. 5. Анализатор радиоактивных изотопов ксенона («АРИКС-02»), работающий в автоматическом режиме и предназначенный для эксплуатации на международных станциях радионуклидного мониторинга в системе Договора о контроле за прекращением ядерных испытаний.



Обычно детекторы находятся в измерительных камерах, форма и объём которых выбраны в соответствии с требованиями к чувствительности и разрешающей способности. На **Рис. 1** приведены несколько видов обычно применяемых измерительных камер различной формы. Камеры для регистрации ^{133}Xe оборудуют счётчиком Гейгера или γ -сцинтилляционным счётчиком. Проточные камеры относятся к дифференциальным детекторам и предназначены для определения нестационарных концентраций радиоактивного газа в газе носители. Камеры, в которых расположены поглотители инертных газов (например, камеры с активированным углём, охлаждаемым жидким азотом) относят к интегральным детекторам, предназначенным для измерения роста количества радиоактивного газа в измеряемой среде.

Рис. 6. Проточная водоохлаждаемая камера, снабженная электрическим фильтром для удаления положительно заряженных продуктов распада и предназначенная для регистрации нестационарных концентраций изотопов радона.



Остановимся несколько подробнее на подборе характеристик проточного (дифференциального) детектора радиоактивных благородных газов, РБГ.

При регистрации короткоживущих нуклидов скорость потока газа-носителя должна быть достаточно большой, чтобы предотвратить потери на распад. В то же время очень высокая скорость газа-носителя приводит к уменьшению чувствительности системы регистрации, поскольку при больших скоростях расхода РБГ через камеру

вероятность детектирования за счёт распада мала. Оптимальное значение скорости потока зависит от объёмов проточной системы и измерительной камеры и от постоянной распада радионуклида.

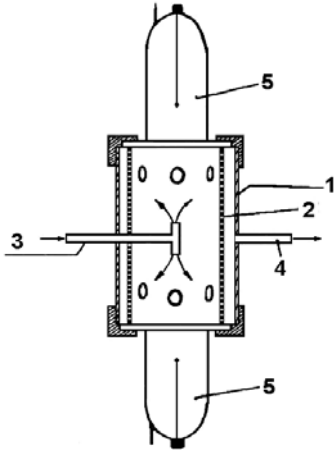


Рис. 7. Камера для измерения стационарных концентрация β - излучающих инертных газов (^{85}Kr , ^{133}Xe): 1 – корпус, 2 - внутренний цилиндр с отверстиями, 3 – вход радиоактивного газа, 4 – выход радиоактивного газа, 5 – торцовый счётчик Гейгера-Мюллера.

Пусть в системе достигнут ламинарный поток (что является некоторым упрощением реальности) и V_1 – объём системы, V_2 – объём измерительной камеры, v – скорость газового потока, λ - постоянная распада регистрируемого радиоактивного благородного газа, a_0 – число атомов инертного газа, поступающее в детектор, a – число атомов инертного газа, распадающегося в измерительной камере в единицу времени, тогда

$$a = a_0 e^{-\lambda \frac{V_1}{v}} \left[1 - e^{-\lambda \frac{V_2}{v}} \right] \quad (1)$$

Скорость потока газа, соответствующая максимальной эффективности измерения, равна

$$v_{\max} = 0,5\lambda \left[1 + \left(1 + 4 \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2)$$

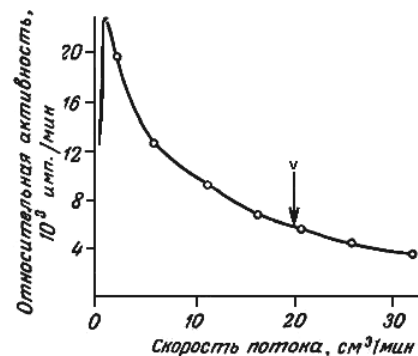


Рис. 8. Экспериментальная зависимость относительной активности ^{220}Rn от потока газа-носителя для измерительной камеры малого объёма ($V_2=8,4 \text{ см}^3$). Рабочая скорость $v=20 \text{ см}^3/\text{мин}$.

На **Рис. 8** приведена экспериментально определённая зависимость эффективности проточной системы от скорости газа-носителя в случае регистрации изотопа с периодом полураспада 1 мин. Форма кривой зависит от типа газа-носителя. Рабочую скорость потока обычно выбирают на ниспадающей части кривой, где на измеренную активность не оказывают сильного влияния возможные флуктуации скорости потока. Для случая, приведённого на **Рис. 8**, рабочая объёмная скорость потока $v = 20 \text{ см}^3/\text{мин}$. Перед входом детектор, газ осушают, а иногда очищают от паров и примесей.

Российская промышленность выпускает блоки детектирования объёмной активности газов, применяемых в системе радиационного контроля. Среди них можно упомянуть БГГБ-21С на базе торцового счётчика Гейгера-Мюллера - измерение суммарной объёмной активности инертных радиоактивных газов (ИРГ) в технологических средах, в воздухе помещений, БДГБ-02С на базе торцового счётчика - измерение объёмной активности инертных радиоактивных газов на объектах с атомными энергетическими установками, а также на других объектах, связанных с получением, переработкой и использованием радиоактивных материалов, БДГБ - 26С на базе кремниевого полупроводникового детектора ДКД - Пм - 2,5 - 3 - измерение объёмной активности криптона-88, ксенона-138 в технологических средах и воздухе, БДГБ - 30С измерение объёмной активности азота-16 в паровоздушной смеси.



Радиометр газов РГБ-02 Предназначен для измерения объёмной активности газов в воздухе по их бета-излучению, а также для индикации места протечки

радиоактивных газов из технологического оборудования. применяется на АЭС, реакторных установках, на предприятиях, связанных с применением или получением радиоактивных веществ, для радиационного контроля воздушной среды. В комплект радиометра входит шуп-воздухозаборник переменной длины для отбора проб в труднодоступных местах.



Радиометр газов РГБ-07 Предназначен для измерения объемной активности β -активных газов в воздухе. Применяется для радиационного контроля воздушной среды на предприятиях, использующих радиоактивные вещества. При аттестации может применяться в качестве образцового средства измерения для градуировки и поверки рабочих средств измерений.

Установка для непрерывного автоматического контроля β -излучающих радиоактивных газов (аргон, криптон, ксенон) и измерения объемной активности радиоактивных газов УДГ-1Б на базе полупроводникового кремниевого детектора. Измеренное значение объемной активности индицируется на встроенном табло и передается по информационной сети. Установка соответствует требованиям класса безопасности 3Н по ОПБ 88/97; на ядерные и радиационно-опасные объекты поставляется с приемкой ГАН РФ.



РБГ-08П - радиометр благородных газов (без защитного экрана). Минимальная измеряемая активность ^{85}Kr 2Бк/м³. Метод измерения заключается в прокачке контролируемого воздуха через измерительную кювету и регистрации β -излучения



криптона-85 пленочным сцинтиллятором с чувствительной поверхностью 5200 см², размещенным в измерительной кювете объемом 4,6 л. Особенностью сцинтиллятора является низкая сорбция радионуклидов на его поверхности. Фотоумножитель ФЭУ-167. Это и достигается рекордный диапазон измерения - от 1 до $3,7 \times 10^4$ Бк/л при естественном внешнем фоне в дополнительной защите из свинца толщиной 5 см. Радиометр конструктивно выполнен в виде блока детектирования (БД) и пульта, соединенных кабелем. БД включает в себя кювету, ФЭУ с делителем, узлы высоковольтного питания и первичной обработки информации. Сверху блока размещены светозащитные штуцеры для подвода и сброса контролируемого воздуха. На передней панели пульта расположены цифробуквенный дисплей, клавиатура и звуковой сигнализатор. Схемы обработки информации и вывода ее на дисплей выполнены на микропроцессоре.