

К определению концентрации радиоактивных газов цилиндрическим счетчиком, помещенным в ограниченный объем

А. А. ГУСЕВ

УДК 539.1.074.2

В радиометрии β - и γ -активных газов применяются устройства [1], основной частью которых служит камера с цилиндрическим газоразрядным счетчиком. Возможности этого способа радиометрии обсуждались в работах [2, 3].

Камеры (обычно цилиндрические) выполняются или проточными, или в них отбираются фиксированные пробы воздуха из контролируемого объема. Измерив скорость счета N импульсов, можно получить сведения о концентрации q газа:

$$N = Kq, \quad (1)$$

где K — коэффициент, зависящий от вида излучения, типа детектора и геометрии измерений.

Расчет позволяет выявить зависимость K от определяющих параметров и найти оптимальное решение конструкции камера — счетчик. Однако имеющиеся формулы [2, 4] довольно сложны, что затрудняет использование их на практике. Автор получил более простое выражение, которое рекомендуется для радиометрических расчетов.

Пусть счетчик высотой $2h_0$ (рис. 1) и радиусом r_0 находится в центральной части камеры высотой $H_1 + H_2$ и радиусом основания R_0 , равномерно заполненной γ -активным газом. Вертикальные оси камеры и счетчика совпадают. Гамма-кванты, испущенные элементарным объемом dV газа, проходят через эле-

мент dS_1 боковой поверхности счетчика и элемент dS его осевого сечения, перпендикулярного плоскости, включающей r_1 и L (r_1 — отрезок прямой между dV и dS ; L — горизонтальная проекция r_1). Элементарный поток γ -квантов через элемент dS составит

$$dN = \frac{q dV dS \cos \varphi}{4\pi r_1^2} \quad (2)$$

где φ — угол, образованный r_1 и нормалью к dS .

Так как

$$r_1^2 = R^2 + (Z - h)^2 - r^2; \quad dS = dr \cdot dh; \quad (3)$$

$$dV = R dR dZ d\psi; \quad \cos \varphi = \sqrt{\frac{R^2 - r^2}{R^2 + (Z - h)^2 - r^2}}$$

(где R — радиус-вектор dV ; r — радиус-вектор dS ; Z — вертикальная координата dV ; h — вертикальная координата dS ; ψ — центральный угол, определяющий dV), то с учетом формулы (1)

$$K = \frac{1}{2\pi} \int_0^{R_0} \int_{-H_1}^{H_2} \int_0^{2\pi} \frac{R \sqrt{R^2 - r^2} dr dR dZ dh d\psi}{[R^2 + (Z - h)^2 - r^2]^{3/2}} \quad (4)$$

Здесь

$$h_1 = h_0 + \frac{(Z + h_0) \sqrt{r_0^2 - r^2}}{\sqrt{R^2 - r^2} - \sqrt{r_0^2 - r^2}};$$

$$h_2 = h_0 - \frac{(Z - h_0) \sqrt{r_0^2 - r^2}}{\sqrt{R^2 - r^2} - \sqrt{r_0^2 - r^2}}.$$

После интегрирования по ψ , h , Z , R многократный интеграл в формуле (4) приводится к однократному, который не выражается в элементарных и табулированных функциях и может быть найден вычислением на ЭВМ.

Представляет интерес случай, когда $R \gg r$ и $Z \gg h$ («точечный приемник»). Тогда выражение (4), упрощаясь, переходит в

$$K = 2r_0 h_0 \int_{r_0}^{R_0} \int_{-H_1}^{H_2} \frac{R^2 dR dZ}{(R^2 + Z^2)^{3/2}} \quad (5)$$

После интегрирования получаем

$$K = 2r_0 h_0 \left[H_1 \ln \left(\frac{R_0 + \sqrt{R_0^2 + H_1^2}}{r_0 + \sqrt{r_0^2 + H_1^2}} \right) + H_2 \ln \left(\frac{R_0 + \sqrt{R_0^2 + H_2^2}}{r_0 + \sqrt{r_0^2 + H_2^2}} \right) \right] \quad (6)$$

В частном случае при $H_1 = H_2 = H$

$$K = 4r_0 h_0 H \ln \left(\frac{R_0 + \sqrt{R_0^2 + H^2}}{r_0 + \sqrt{r_0^2 + H^2}} \right) \quad (7)$$

Соотношение (7) дает практически те же значения K , что и приближенные формулы работ [2, 4]. На рис. 2 приведены графики ряда характерных зависимостей. Так как расчеты по формуле (7) чрезвычайно просты,

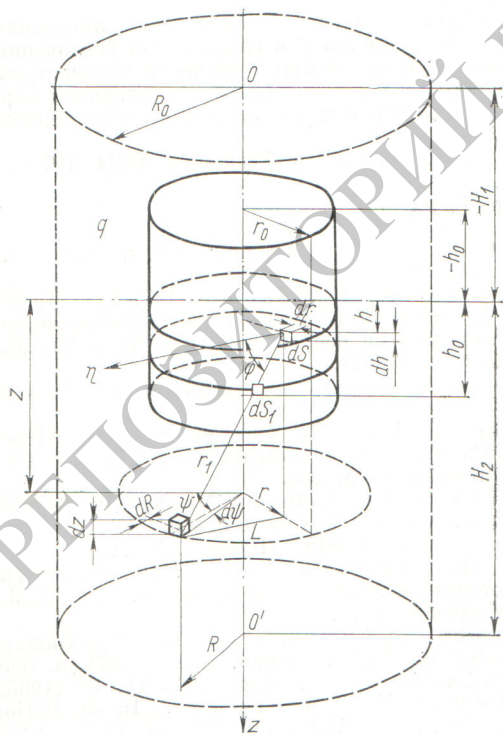
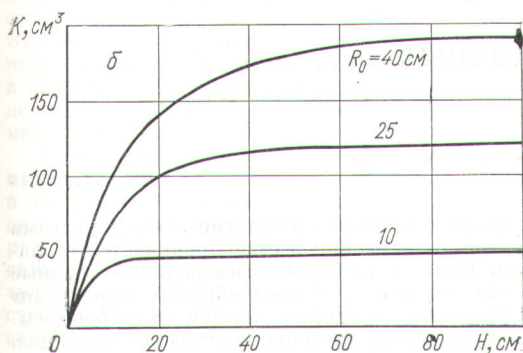
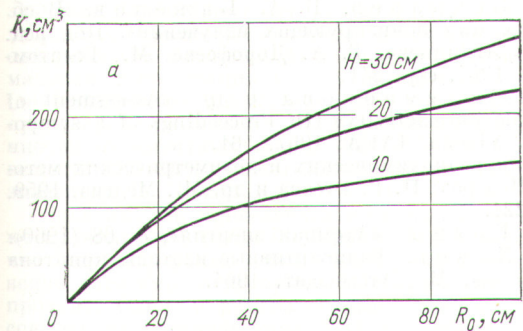


Рис. 1. Схема к выводу формул (6) и (7).



Р и с. 2. Зависимости ($r_0 = 0,5$ см; $h_0 = 2,5$ см):
а — $K = F_1(R_0)$; б — $K = F_2(H)$.

Зависимость K_1/K_2 от определяющих параметров для некоторых счетчиков

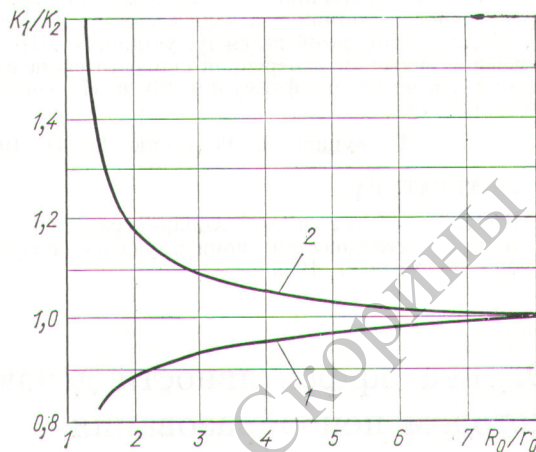
$r_0 = 0,5$ см; $h_0 = 2$ см					$r_0 = 1$ см; $h_0 = 10$ см				
H/h_0	R_0/r_0				H/h_0	R_0/r_0			
	2	3	4	8		2	2,5	3	5
1	0,905	0,961	0,983	1,00	1	0,870	0,904	0,922	0,924
4	0,900	0,944	0,961	1,00	2	0,898	0,929	0,930	0,963
6	0,920	0,940	0,959	0,989	5	0,848	0,923	0,939	0,970

представляется возможным рекомендовать ее для расчетов по радиометрии γ -активных газов*.

С целью выявления предела применимости формулы (7) на ЭВМ был вычислен однократный интеграл, следующий из формулы (4) после интегрирования в ней по ψ , h , Z и R для различных цилиндрических счетчиков и камер. Затем были сопоставлены значения K_1 , рассчитанные по формуле (7), с фактическими K_2 , найденными вычислением на ЭВМ.

Полученные данные показывают, что величина K_1/K_2 мало зависит от значения H/h_0 и определяется главным образом отношением R_0/r_0 (см. таблицу). Для достаточно большой величины R_0/r_0 можно получить $K_1 \approx K_2$ даже при $H = h_0$.

* А также β -активных, если доля поглощаемого излучения мала.



Р и с. 3. Зависимости $\frac{K_1}{K_2} = f\left(\frac{R_0}{r_0}\right)$:

1 — $r_0 \leq 1$ см; $h_0 \leq 20$ см; $H \geq h_0$; 2 — $r_0 = 1,5$ см; $h_0 = 10$ см; $H \geq h_0$.

При $r_0 \leq 1$ см и $h_0 \leq 20$ см величина K_1/K_2 практически зависит лишь от R_0/r_0 . Соответствующий усредненный график представлен на рис. 3 (ошибка усреднения для данного R_0/r_0 не более 2%). При значительных r_0 и h_0 характер зависимости $\frac{K_1}{K_2} = f\left(\frac{R_0}{r_0}\right)$ изменяется, так как сильнее нарушается «точечность» приемника

и необходимо проводить расчеты для конкретного счетчика. Один из таких графиков приведен также на рис. 3.

Поскольку рис. 3 характеризует подавляющее большинство выпускаемых счетчиков γ - и жесткого β -излучения, на его основе можно оценить границы применимости формулы (7) в радиометрических расчетах.

Формула (7) приводит к значениям K , почти равным фактическим, начиная с $\frac{R_0}{r_0} = 7$. Уже при $\frac{R_0}{r_0} > 3$, а для счетчиков с $r_0 \leq 1$ см и $h_0 \leq 20$ см при $\frac{R_0}{r_0} > 2,2$ отличие K_1 от K_2 меньше 10%. При этом достаточно выдержать условие $H = h_0$.

Экспериментальная проверка формул (6) и (7) была проведена с Xe^{133} известной активности и счетчиками СИ-1Г, СТС-5 и СТС-6 в проточных камерах с R_0 и $H_1 + H_2$, соответствующими полученному условию

«точечности» приемников. Вводились поправки на эффективность счетчиков и выход γ -квантов на распад [5, 6]. Счет импульсов велся на установке ПП-8. Расхождение значений измеренной скорости счета и полученной расчетом по формулам (6) и (7) составляло в среднем 5%.

Поступило в Редакцию 20/III 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Егоров и др. Аппаратура для регистрации и исследования ионизирующих излучений. М., Атомиздат, 1965.

2. В. В. Бочкарев, В. А. Баженов. В сб. «Метрология ионизирующих излучений». Под ред. К. К. Аглинцева, Г. А. Дорофеева. М., Госатомиздат, 1962, стр. 241.
3. Л. В. Артеменкова и др. «Assessment of airborne radioactivity» (In Proceedings of a symposium). Vienna, IAEA, 1967, 561.
4. Сборник радиохимических и дозиметрических методов. Под ред. Н. Г. Гусева и др. М., Медгиз, 1959, стр. 224.
5. В. П. Бовин. «Атомная энергия», 8, 68 (1960).
6. В. И. Левин. Радиоактивные изотопы криптона и ксенона. М., Атомиздат, 1964.

Оценка эффективности дезактивации сточных вод методом пенообразования

В. В. ПУШКАРЕВ, В. Л. ЗОЛОТАВИН, А. А. КОНСТАНТИНОВИЧ, Е. В. БРОВКОВА,
В. Н. САНАТИНА, Э. А. ЯМПОЛЬСКАЯ, В. С. ПЕТРОВ

УДК 621.039.73

Существующие схемы очистки низкоактивных вод, отличающихся высоким содержанием моющих поверхностно-активных веществ (ПАВ), предусматривают обработку их в осветлителях методом коагулирования в слое взвешенного осадка [1]. Анализ осветленных вод показывает, однако, что этим методом не удается полностью освободиться от взвеси и органических примесей.

Ранее была установлена принципиальная возможность доочистки подобных сточных вод от ПАВ и коллоидных примесей путем продувания диспергированного воздуха через раствор [2]. В настоящей работе представлены результаты лабораторных исследований по определению оптимальных условий очистки сточных вод. Примерный состав вод приведен в работе [2]; опыты проводились на аппарате, описанном в работе [3].

Измерения, выполненные на одной и той же воде ($pH = 10$), показали, что в течение первых 10 мин продувания воздуха при скорости 20 мл/мин·см² пористой перегородки степень извлечения органических веществ, взвесей и радиоактивных изотопов повышается, доходит до максимума и в дальнейшем не изменяется. Оказалось, что для очистки сточных вод определенного состава существует оптимальная скорость продувания диспергированного воздуха. Так, вода, имеющая взвесь 30 мг/л, жесткость 1,2 мг·экв/л, окисляемость 30 мг O₂/л и удельную активность 10⁻⁸ кюри/л, лучше всего очищается при продувании воздуха со скоростью, равной 50 мл/мин·см² пористой перегородки.

При скоростях продувания ниже и выше указанной степень извлечения примесей падает. Это объясняется тем, что при высоких скоростях продувания возникающее турбулентное движение механически разрушает образующуюся пену в первый же момент ее появления. В результате происходит обратный процесс перехода взвеси и органических веществ в объем воды.

Снижение удельной активности объясняется тем, что радиоактивные микроэлементы в значительной степени сорбируются взвесями и вместе с ними переходят на границу раздела фаз. Многовалентные ионы извлекаются в большей степени, чем одно- и двухвалентные. К числу последних относятся цезий и строн-

ций, адсорбция которых твердыми поверхностями и органическими примесями всегда проявляется в слабой степени. Кроме того, неизвестны радиоколлоидные свойства этих элементов. Таким образом, «продуктая» вода относительно обогащена цезием и стронцием. Сравнительно высокое извлечение многовалентных ионов (церий, цирконий, ниобий и др.) связано с поведением гидролизованых ионов указанных радиоактивных микрокомпонентов, которые могут сорбироваться взвесями в достаточной мере. Для них характерно и радиоколлоидное поведение, способствующее самостоятельной коагуляции коллоидных частиц микрокомпонентов на границе раздела фаз.

Часть солей жесткости извлекается из раствора хозяйственным мылом, которое связывает кальций в слаборастворимое соединение, также переходящее в пену. Причины перехода взвеси в пенный продукт общеизвестны [4].

Были проведены также многочисленные исследования на сбросных водах, различающихся по своему составу (полученных в различное время суток, месяца и года). Определенных зависимостей выявить не удалось. Отметим лишь, что количественные показатели качества вод, обработанных продуванием диспергированного воздуха, характеризуются значительным разбросом. Это связано не только с величинами окисляемости или содержания взвесей, но и с изменением самой природы органических примесей и взвешенной твердой фазы. Поступающие на очистку стоки в должной мере не усредняются, и их состав и характеристики постоянно меняются во времени.

В практике обычной водоподготовки или очистки промышленных сточных вод для объективной оценки осветления и очистки часто прибегают к анализу не зависящих друг от друга параметров (например, отношение окисляемости к цветности или биохимической потребности в кислороде к окисляемости). В рассматриваемом случае целесообразно использовать параметр A , представляющий собой отношение окисляемости к количеству взвешенных веществ $\left(\frac{\text{мг O}_2/\text{л}}{\text{мг/л}}\right)$.

Оказалось, что при $pH = 11$ максимальные степени очистки от взвесей, органических примесей и радиоактивных изотопов наблюдаются при одном и том же