

струе чувствительнее гауссовой к входным метеорологическим данным, но тем не менее при конвективных условиях и корректном выборе входных параметров обе модели дают близкие результаты. Модели относятся к классу оперативных, так как время счета по ним во много раз меньше времени переноса примеси в пределах расчетной области. Результаты сравнения рассчитанных значений концентрации примеси с экспериментальными данными [6, 7] позволяют рекомендовать их для расчетов возможных уровней загрязнения окружающей среды при нормальных условиях эксплуатации предприятий и в аварийных ситуациях.

Исследования показали также, что естественная изменчивость поля ветра в условиях, характерных для средней полосы России, настолько большая, что не позволяет получать надежные оценки полей концентрации примеси только по данным сетевых метеостанций даже в ближней зоне источников. Это означает, что вблизи предприятий с опасным производством должны размещаться пункты метеорологических измерений, оснащенные мачтами небольшой высоты. Для учета пространственной неоднородности полей ветра в диффузионных расчетах можно также использовать численные модели атмосферного пограничного слоя, адаптированные к местным условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елохин А.П., Талерко Н.Н., Буйков М.В. и др. Сравнение экспериментальных и расчетных данных о приземной концентрации примеси в атмосфере. — Метеор. и гидрология, 1996, № 2, с. 41—47.
2. Вагер Б.Г., Надежина Е.Д. Пограничный слой атмосферы в условиях горизонтальной неоднородности. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 136 с.
3. Гаргер Е.К., Найденов А.В. К сравнению различных методик расчета поля концентрации примеси от высотного источника. — Труды ИЭМ, 1986, вып. 37(120), с. 66—86.
4. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448 с.
5. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей. Под ред. Ф. Ньюстадта и Х. Ван Допа. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 351 с.
6. Venkatram A. Dispersion from an elevated source in a convective boundary layer. — *Atm. Envir.*, 1980, v. 14, p. 1—10.
7. Venkatram A., Vet R. Modelling of dispersion from tall stacks. — *Ibid.*, 1981, v. 15, p. 1531—1538.
8. Бесчастнов С.П., Найденов А.В. Оценки пространственной изменчивости поля ветра для системы радиационного мониторинга г. Обнинска. — Метеор. и гидрология, 1998, № 3, с. 33—43.
9. Hogstrom U. An experimental study on atmospheric diffusion. — *Tellus*, 1964, v. 16, № 2, p. 205—251.
10. Smith F. The role of wind shear in horizontal diffusion of ambient particles. — *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 1965, v. 91, № 2, p. 205—251.
11. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Ч. 1. М.: Наука, 1965. 640 с.
12. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальное исследование атмосферной диффузии и расчета рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 278 с.
13. Махонько К.П., Бесчастнов С.П., Корсаков А.Т., Мартыненко В.П. Распределение по территории Брянской области концентрации в воздухе ^{137}Cs , поднятого ветром с поверхности почвы. — Атомная энергия, 1996, т. 81, вып. 4, с. 296—301.
14. Briggs G. Plume Rise. TID-25075, U.S. Atomic Energy Commission, November 1969.
15. Pasquill F. Atmospheric diffusion parameters in Gaussian plume modelling. Part II. Possible requirements for change in the Turner Workbook Values, EPA-600/4-76-0306, 1976. 44 p.
16. Руководство по установлению допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу (ДВ-98). М.: Энергоатомиздат, 1999, т. II. 300 с.

Поступила в Редакцию 24.01.2000

УДК 621.039.58

РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ — ТОРЦЕВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР

Курдяев Ю.Б. (Северо-Западная академия государственной службы)

При измерении малоактивных излучателей приходится располагать их в непосредственной близости от детектора. В этих условиях ни излучатель, ни детектор не могут считаться точечными, и без соответствующей корректировки нельзя использо-

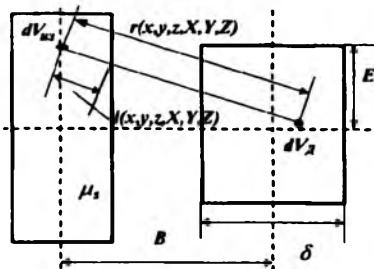
вать результаты таких измерений. В этом случае необходимо получить соответствующий поправочный коэффициент на неточность излучателя и детектора. В работе [1] с использованием инженерного метода проанализирована радиометрическая система, состоящая из цилиндрического поглощающего излучателя и сферического детектора. Для нее приведены геометрические коэффициенты, учитывающие неточность сферического детектора, и параметры цилиндрического поглощающего излучателя. Однако многие дозиметры ионизирующего излучения имеют детекторы цилиндрической формы, ориентированные торцом к излучателю (МКС-01Р, ДРГЗ-02 и многие другие). Поэтому представляется целесообразным исследовать свойства такой радиометрической системы. В связи с тем, что чувствительным элементом детектора чаще всего является тканеэквивалентная пластмасса или газ, влияние поглощения γ -квантов материалом детектора в настоящей работе не учитывали. Распределение радионуклида по объему излучателя считалось равномерным, и не принимался в расчет вклад рассеянного излучения на материале излучателя, который, как было показано в работе [1], не вносит существенных искажений в получаемые результаты. Для торцевого цилиндрического детектора и точечного излучателя, расположенного на его оси, известно аналитическое решение соответствующего интеграла [2, с. 44], что позволяет получить точное значение геометрического коэффициента Ψ_T для этого случая и в дальнейшем использовать при оценке точности проводимых расчетов:

$$\Psi_T = \frac{B^2}{E^2 \delta} \left[(B + \delta/2) \left(\ln 1 + \frac{E^2}{(B + \delta/2)^2} + \frac{2E}{(B + \delta/2)} \operatorname{arctg} \frac{(B + \delta/2)}{E} \right) - \right. \\ \left. - (B - \delta/2) \left(\ln 1 + \frac{E^2}{(B - \delta/2)^2} + \frac{2E}{(B - \delta/2)} \operatorname{arctg} \frac{(B - \delta/2)}{E} \right) \right], \quad (1)$$

где B — расстояние между точечным излучателем и центром цилиндрического детектора; E, δ — радиус и толщина цилиндрического детектора соответственно.

Усредненную по объему детектора мощность кермы объемного поглощающего излучателя можно определить по формуле (рис. 1):

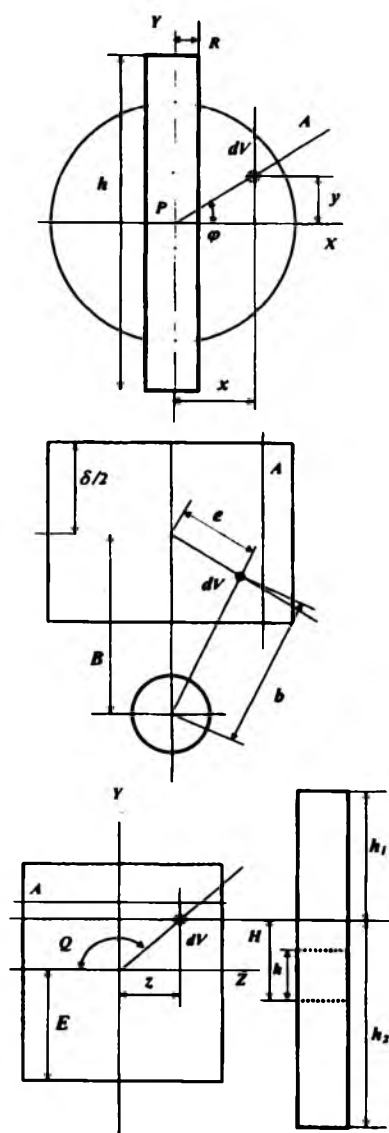
$$\bar{P} = \frac{\Gamma_\gamma A_\gamma}{V_d} \iiint_{V_d} \iiint_{V_{из}} \frac{dV_d dV_{из}}{r^2(x, y, z, X, Y, Z)} \times \\ \times \exp[-\mu_s l(x, y, z, X, Y, Z)], \quad (2)$$



Р и с. 1. Геометрические параметры к обобщенному уравнению (2)

где Γ_γ — керма постоянная излучателя; A_γ — объемная активность излучателя; $V_d, V_{из}$ — объем детектора и излучателя соответственно; r — текущее расстояние между элементарными объемами излучателя и детектора; l, μ_s — текущая длина и линейный коэффициент поглощения γ -квантов материалом излучателя; x, y, z, X, Y, Z — текущие координаты элементарного объема излучателя и детектора.

При определении геометрического коэффициента для облегчения работы с шестерным интегралом в формуле (2) можно воспользоваться следующим приемом. Зададим параметры интегрирования по объему детектора, рассчитаем координаты узлов интегрирования, определим для этих точек мощность кермы объемного поглощающего излучателя, выбрав соответствующие параметры интегрирования по объему излучателя, и, наконец, проинтегрируем полученные значения по объему детектора. Затем отнесем полученные значения к мощности кермы, создаваемой таким же излучателем в центре объемного детектора, и, таким образом, получим искомый геометрический коэффициент.



Р и с. 2. Расчетная схема радиометрической системы

Мощность кермы в элементарном объеме детектора при выполнении условия $h > 2E$ определяется излучением двух составляющих цилиндрических излучателей радиусом R , высотой h_1 и h_2 , находящихся на текущем расстоянии b от центра элементарного объема dV детектора (рис. 2). Если высота излучателя меньше диаметра детектора ($h < 2E$), то тогда для некоторой области объема детектора необходимо рассчитывать мощность кермы при положении точки детектирования вне его высоты. Поэтому используем результаты работы [3], в которой приведено инженерное решение задачи расчета мощности кермы цилиндрического поглощающего излучателя при произвольном положении точки детектирования относительно излучателя. Входными геометрическими параметрами расчета мощности кермы в элементарном объеме детектора являются h — текущая высота излучателя, H — текущее расстояние от нижнего основания цилиндрического излучателя до плоскости, в которой располагается центр элементарного объема детектора; b — текущее расстояние от центральной оси излучателя до центра элементарного объема детектора. Мощность кермы в каждом узле объема детектора от излучателя рассчитывали по формуле (2), приведенной в работе [3].

Для каждого элементарного объема детектора рассчитывали две группы параметров h_1 , H_1 , b и h_2 , H_2 , b и для каждой из них определяли мощность кермы P_1 и P_2 . В частности, общий для двух групп параметр b определен следующим образом (см. рис. 2):

$b = \sqrt{x^2 + (B + z)^2}$, где $x = e \sin Q$; $y = e \sin Q \sin \varphi$; $z = e \cos Q$. Эти значения в дальнейшем использовали при интегрировании мощности кермы по объему детектора. Усредненную по объему детектора мощность кермы от цилиндрического поглощающего излучателя целесообразно представить в следующем виде:

$$\bar{P} = \frac{4}{\pi E^2 \delta} \left(\int_0^{\pi/2} \int_0^{\theta_{\max}^1} \int_{\theta_{\min}^1} [P_1^1(\phi, e, \theta) + P_2^1(\phi, e, \theta)] e^2 \sin \theta d\phi de d\theta + \right. \\ \left. + \int_0^{\pi/2} \int_0^{\theta_{\max}^2} \int_{\theta_{\min}^2} [P_1^2(\phi, e, \theta) + P_2^2(\phi, e, \theta)] e^2 \sin \theta d\phi de d\theta \right), \quad (3)$$

где если $e \leq \delta/2$, то $\theta_{\min}^1 = 0$; если $e > \delta/2$, то $\theta_{\min}^1 = \arcsin(e^{-1} \sqrt{e^2 - (\delta/2)^2})$; если $e \leq E$, то $\theta_{\max}^1 = \pi/2$; если $e > E$, то $\theta_{\max}^1 = \arccos\left(\frac{\sqrt{e^2 - E^2}}{e}\right)$; если $e \leq E$, то

$\theta_{\min}^2 = \pi/2$; если $e > E$, то $\theta_{\min}^2 = \pi - \arccos\left(\frac{\sqrt{e^2 - E^2}}{e}\right)$; если $e \leq \delta/2$, то $\theta_{\max}^2 = \pi$; если $e > \delta/2$, то $\theta_{\max}^2 = \pi - \arcsin(e^{-1}\sqrt{e^2 - \delta^2/2})$; ϕ, e, θ — сферические координаты центра элементарного объема детектора dV относительно центральной точки детектора.

Геометрический коэффициент рассматриваемой радиометрической системы, таким образом, можно рассчитать по соотношению $\Psi = \bar{P}/P_{\text{т.д.}}^{\text{и}}$, где $P_{\text{т.д.}}^{\text{и}}$ — мощность кермы цилиндрического поглощающего излучателя для точки, находящейся в центре объема детектора.

Численное интегрирование выражений (2) и (3) проводили с помощью повторного применения квадратурных формул Гаусса с 12 узлами по каждой переменной [4].

Как следует из таблицы, геометрический коэффициент, учитывающий конечные размеры детектора, при расположении точечного излучателя вблизи детектора может принимать значения как больше, так и меньше единицы в зависимости от относительной толщины детектора δ/E . При относительной толщине детектора δ/E , равной 1,57, для точечного излучателя, расположенного на любом расстоянии от ближней к излучателю торцевой поверхности детектора, геометрический коэффициент мало отличается от единицы. Это совпадает с данными, приведенными в работе [2]. Как следует из данных таблицы, максимальные погрешности численного интегрирования выражения (3) для принятых параметров не превышают 1,5%.

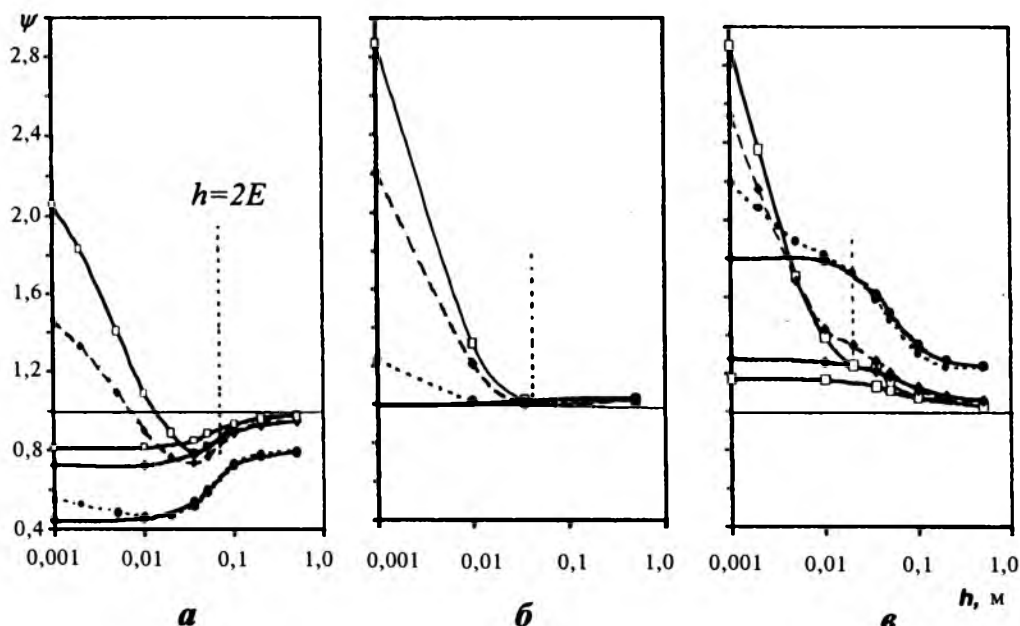
Зависимость геометрического коэффициента от толщины детектора и удаления излучателя от центра $2B/\delta$, рассчитанная по формуле (1)

$2B/\delta$	δ/E			
	0,0286	1,429	1,57	5
1,01	0,00188	0,877	0,982	3,462
1,44			0,979	1,679 (1,5)
2,41		0,981 (1,3)	1,011	
3,04				1,109 (1,5)
5,04		0,999 (1,3)		1,037 (1,5)
8,41		1 (1,3)	1,002	
42,2	0,481 (0,01)			
122	0,865 (0,01)			
222	0,953 (0,01)		1	

Примечание. В скобках указана максимальная погрешность численного интегрирования выражения (4), %.

С помощью выражения (3) была проведена серия расчетов для трех цилиндрических торцевых детекторов с относительной толщиной, равной 0,0286, 1,429 и 5. Первое значение соответствует детектору БДКБ-01Р, второе — БДКГ-01Р дозиметра МКС-01Р. Геометрические параметры первого детектора следующие: $E = 0,035$ м, $\delta = 0,001$ м, $B_{\min} = 0,0111$ м, второго — 0,021 м, 0,03 м, 0,0261 м, третьего — 0,01 м, 0,05 м, 0,0261 м. ($B_{\min}$ — расстояние от центра чувствительного объема детектора до передней кромки устройства).

Геометрический коэффициент рассчитывали для цилиндрических излучателей радиусом 0,01, 0,05 и 0,1 м и высотой 0,001—0,5 м. Все излучатели располагали вплотную к кромке детектора. Линейный коэффициент поглощения γ -квантов принимали равным 0 и 46 м^{-1} . Результаты расчетов приведены на рис. 3.



Р и с. 3. Зависимость геометрического коэффициента для толщины детектора 0,0286 (а), 1,429 (б), 5 (в) от параметров цилиндрического излучателя: $R = 0,01$ (○), $0,05$ (◇), $0,1$ м (□); $\mu_0 = 0$ (—) и 46 м^{-1} (---)

Как следует из полученных данных, для непоглощающих излучателей геометрический коэффициент мало изменяется в областях малой и большой относительной высоты излучателя. Наиболее резкое изменение коэффициента наблюдается в области, где высота излучателя соизмерима с диаметром торцевого детектора.

Для объемного цилиндрического непоглощающего излучателя при относительной толщине детектора δ/E , близкой к 1,57, геометрический коэффициент, как и в случае с точечным излучателем, близок к единице на любом относительном удалении от внешней кромки детектора. При относительной толщине детектора меньше 1,57 он снижается с уменьшением относительной высоты h/R непоглощающего излучателя. При относительной толщине детектора больше 1,57 коэффициенты увеличиваются с уменьшением относительной высоты непоглощающего излучателя. При высоте поглощающего цилиндрического излучателя больше диаметра детектора характер зависимости коэффициента от относительной высоты излучателя мало отличается от аналогичной зависимости для непоглощающего излучателя, меньше диаметра детектора — возрастает с уменьшением относительной толщины излучателя для детекторов с любой относительной толщиной. Чем больше коэффициент линейного поглощения γ -квантов в материале излучателя и чем меньше относительная толщина излучателя, тем значительнее это увеличение.

Таким образом, из полученных данных следует, что цилиндрический детектор с относительной толщиной 1,57 может считаться точечным и для непоглощающих цилиндрических излучателей с любой относительной толщиной излучателя h/R , а также для поглощающих цилиндрических излучателей с высотой больше диаметра детектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курдяев Ю.Б. Влияние параметров цилиндрического излучателя и сферического детектора на результаты измерений. — Атомная энергия, 1999, т. 86, вып. 1, с. 32—36.
2. Гусев Н.Г., Ковалев Е.Е., Осанов Д.П., Попов В.И. Защита от излучения протяженных источников. М.: Гос. изд. лит. в области атомной науки и техники, 1961.
3. Курдяев Ю.Б. Расчет параметров поля цилиндрического излучателя в направлении образующей. — Атомная энергия, 2000, т. 88, вып. 2, с. 88—92.
4. Крылов В.И., Шульгина Л.Т. Справочная книга по численному интегрированию. М.: Наука, 1966. 370 с.

Поступила в Редакцию 17.03.2000