

Принципы нормирования выбросов радиоактивных продуктов из труб предприятий атомной промышленности и энергетики (метеорологические аспекты)

Н. Е. АРТЕМОВА, Е. Н. ТЕВЕРОВСКИЙ

УДК 551.510.72

Распространение в атмосфере примеси, выбрасываемой работающим промышленным предприятием, осуществляется в соответствии с особенностями турбулентного переноса, характерными для места расположения данного объекта, его мощностью и свойствами самой примеси. Приземные концентрации вредных веществ и плотность их выпадений на местности зависят также от термодинамического состояния атмосферы, скорости и направления ветра, высоты, объема и скорости выброса, продолжительности действия источника, осаднения и вымывания, способности переносимой примеси к радиоактивному распаду. Таким образом, рассеяние радиоактивных продуктов, выброшенных в атмосферу, — это процесс, который обусловлен взаимодействием различного рода механизмов, приводящих к установлению определенной зависимости между количеством примеси, выбрасываемой через трубу, и ее концентрацией в воздухе и на подстилающей поверхности в различных точках пространства, окружающего источник выброса. Эта зависимость может быть с удовлетворительной степенью достоверности охарактеризована коэффициентом разбавления P (размерность L^3/T , где L — единица измерения длины, T — времени) в соотношении между мощностью выброса Q (размерность T^{-1}) примеси и ее концентрацией c (размерность L^{-3}) в воздухе:

$$Q = Pc. \quad (1)$$

При непрерывном выбросе с постоянной мощностью Q коэффициент P определяет объем, необходимый для рассеяния примеси, выбрасываемой источником в единицу времени, до наблюдаемой или расчетной приземной концентрации. Величина коэффициента P зависит от периода усреднения комплекса метеорологических условий и плавно изменяется с удалением от источника в направлении преобладающего ветра (рис. 1). Минимальное значение P соответствует наибольшему значению приземной концентрации, т. е. точке, где осуществляется максимальное поступление примеси в нижний двухметровый слой за счет вертикальной диффузии и адвекции.

Результаты длительного изучения закономерностей распространения различного рода

веществ, выбрасываемых из труб промышленных предприятий, позволяют в настоящее время сформулировать основные принципы расчета предельно допустимого выброса (ПДВ) с учетом особенностей разбавления примеси в атмосфере и норм радиационной безопасности применительно к конкретным условиям места и времени.

Нормы радиационной безопасности НРБ—69 [1, 2] в соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) [3] и МАГАТЭ [4] основываются на предположении о том, что существует линейная зависимость между дозой облучения и биологическим эффектом, т. е. предполагается, что отсутствует порог действия ионизирующих излучений. В соответствии с этим устанавливаются среднегодовые предельно допустимые соматические дозы внешнего и внутреннего облучения (различные для профессионалов и населения, проживающего вблизи предприятия), регламентирующие поступление радиоактивных изотопов в организм человека с воздухом, водой и пищей и содержание изотопов в приземном слое воздуха.

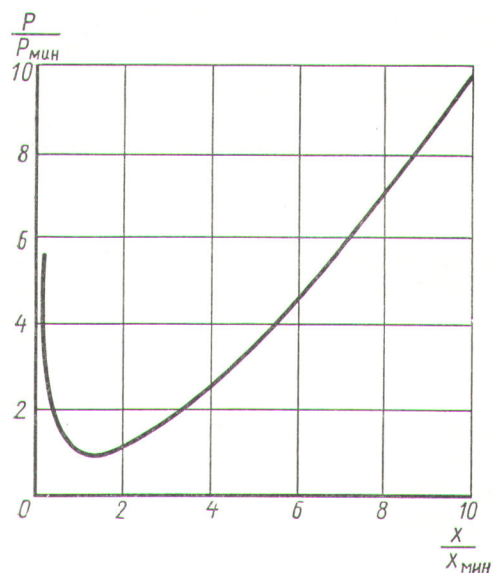


Рис. 1. Коэффициент разбавления P как функция изменения расстояния x от источника выброса.

Задача нормирования выбросов состоит в установлении для каждого предприятия величины ПДВ того или иного изотопа (или их суммы), гарантирующей в условиях данного географического района соблюдение норм внешнего и внутреннего облучения людей, работающих на предприятии и проживающих вблизи него. При этом используется соотношение типа (1), связывающее ПДВ со среднегодовой допустимой концентрацией СДК и среднегодовым коэффициентом разбавления \bar{P} , выбранным применительно к характеру источника и метеорологическим условиям данного района.

Величину СДК радиоактивных продуктов в воздухе определяют исходя из среднегодового допустимого поступления изотопов в организм человека при вдыхании и через пищевые цепи, а также из предельно допустимого внешнего облучения. Значения СДК приведены в НРБ-69 [2]. Среднегодовая величина коэффициента \bar{P} может быть найдена экспериментально или расчетным путем; при нормировании выбросов, по-видимому, следует ориентироваться на минимальные значения коэффициентов разбавления, соответствующие точкам, характеризующим максимальным содержанием примеси в воздухе.

В настоящей работе представлена общая схема оценки минимального среднегодового коэффициента разбавления радиоактивной примеси, непрерывно поступающей из трубы в приземный слой атмосферы, и приведены некоторые соображения, позволяющие учитывать особенности реальной картины разбавления.

Разбавление невесомой долгоживущей примеси, выбрасываемой непрерывно действующим приподнятым источником в атмосферу

Коэффициент P для невесомой долгоживущей примеси может быть определен в соответствии с формулой (1) и существующими методиками расчета приземных концентраций, в каждой из которых используется тот или иной период усреднения рассматриваемых метеорологических параметров и приземной концентрации соответственно. Нормирование выбросов по среднегодовому допустимому поступлению радиоактивных изотопов в организм человека однозначно определяет период усреднения допустимой концентрации и коэффициента разбавления как среднегодовой.

Сложность большинства имеющихся аналитических формул для расчета приземных кон-

центраций с длительными периодами усреднения вынуждает иногда (в случае необходимости проведения таких расчетов) применять имеющиеся методы расчета короткопериодных концентраций в сочетании с определенными эмпирическими зависимостями, характеризующими соотношения различных периодов усреднения или функциональный вид некоторых климатологических величин. Так, для оценки минимального коэффициента разбавления представляется целесообразным использовать рекомендованную в работе [5] и достаточно широко применяемую формулу для расчета максимальной величины разовой (20-минутной) концентрации, записав ее относительно коэффициента разбавления и дополнив параметром, учитывающим соотношение между разовой и среднегодовой концентрациями, и параметром, характеризующим особенности среднегодовой розы ветров:

$$\bar{P}_{\text{мин}} = \frac{H^2 \bar{V} \sqrt{\Delta T}}{\alpha \frac{n}{n_0}} \quad (2)$$

Здесь H — геометрическая высота трубы, м; V — объем выбрасываемой из трубы газовой смеси, м³/сек; ΔT — разность температур выбрасываемых газов и окружающей среды, град; α — параметр, учитывающий особенности турбулентного перемешивания в условиях развитого конвективного обмена для различных районов Советского Союза, град^{1/3}·сек^{2/3}; n/n_0 — показатель вытянутости среднегодовой розы ветров для конкретного района, представляющий собой отношение фактической среднегодовой повторяемости преобладающего направления ветра к повторяемости ветров при условии равновероятности всех направлений (при так называемой круговой розе ветров); α — коэффициент временного усреднения — величина, равная отношению коэффициентов разбавления с разными периодами усреднения P_1/P_2 и в общем случае [6—8] пропорциональная $(\frac{t_1}{t_2})^{0,2}$, где t_1 и t_2 — соответствующие периоды усреднения коэффициентов разбавления. Эта зависимость, подтвержденная также нашими экспериментальными данными для больших периодов усреднения (до года), обусловлена различием в степени устойчивости среднего ветра при разных периодах усреднения или, иными словами, дисперсией направления среднего ветра. Для

круговой розы ветров

$$\alpha = \frac{P_{\text{раз}}}{P_{\text{год}}} = \frac{1}{13}.$$

Параметр n/n_0 , характеризующий реальную повторяемость преобладающего направления ветра, дает возможность учесть истинную дисперсию распределения наиболее опасного направления ветра.

Точка, соответствующая минимальному разбавлению, находится от источника на расстоянии $x_{\text{мин}} = 15 \div 20 H$. Концентрации радиоактивной примеси, отличающиеся от максимальной не более чем на 30%, наблюдаются от источника на расстоянии $10 \div 40 H$ [5].

Значения $\bar{P}_{\text{мин}}$, вычисленные по формуле (2), соответствуют рассеянию примеси при так называемой опасной скорости $u_{\text{оп}}$, при которой изменение высоты выброса за счет теплового и динамического подъема струи наиболее эффективно компенсируется изменением продольного рассеяния в связи с адвекцией. Величина $u_{\text{оп}}$ может быть определена так же, как в работе [5], на основании параметров выброса:

$$u_{\text{оп}} \cong 0,65 \sqrt[3]{\frac{V\Delta T}{H}}. \quad (3)$$

Для атомных электростанций, где в качестве типичных величин можно принять $V = 10^5 \text{ м}^3/\text{ч}$

Расчетные значения среднегодового минимального коэффициента разбавления $\bar{P}_{\text{мин}}$

Климатическая зона	Параметр А	$\frac{n}{n_0}$		
		1:2	1:3	1:4
Центральная часть Европейской территории СССР	0,12	$350H^2$	—	—
Север, северо-запад Европейской территории СССР, Среднее Поволжье, Урал, Украина	0,16	$260H^2$	—	—
Нижнее Поволжье, Северный Кавказ, север Сибири	0,20	$210H^2$	—	—
Казахстан, Средняя Азия, Центральная Сибирь (Омская, Новосибирская, Кемеровская области)	0,20	—	$140H^2$	—
Северо-восточная Сибирь (Чукотка, Камчатка), Центральная Сибирь (Красноярский край, Якутская АССР)	0,20	—	—	$106H^2$

и $\Delta T = 10^\circ$ (летом), опасная скорость ветра при высоте выброса $H = 100 \text{ м}$ составляет $\sim 1 \text{ м/сек}$. В таблице приведены расчетные значения среднегодовых $\bar{P}_{\text{мин}}$ для невесомой долгоживущей радиоактивной примеси, выбрасываемой непрерывно в атмосферу на высоте H (V и ΔT приняты такими же, как при расчете $u_{\text{оп}}$). Значения коэффициентов разбавления даны для различных районов Советского Союза в соответствии с проведенным нами районированием по повторяемости преобладающих ветров и особенностям турбулентного обмена.

Поправки к коэффициенту разбавления $\bar{P}_{\text{мин}}$, учитывающие некоторые особенности распространения радиоактивной примеси

Учет радиоактивного распада. При выбросе быстро распадающихся изотопов количество примеси в воздухе при движении ее от источника в направлении ветра уменьшается не только за счет турбулентного рассеяния, но и за счет радиоактивного распада. Вследствие этого коэффициент разбавления для короткоживущих радиоактивных продуктов, выбрасываемых непрерывно в атмосферу в течение года, определяется следующим образом:

$$\bar{P}_{\text{мин}}^* = \bar{P}_{\text{мин}} e^{-\frac{20H\lambda}{u}}, \quad (4)$$

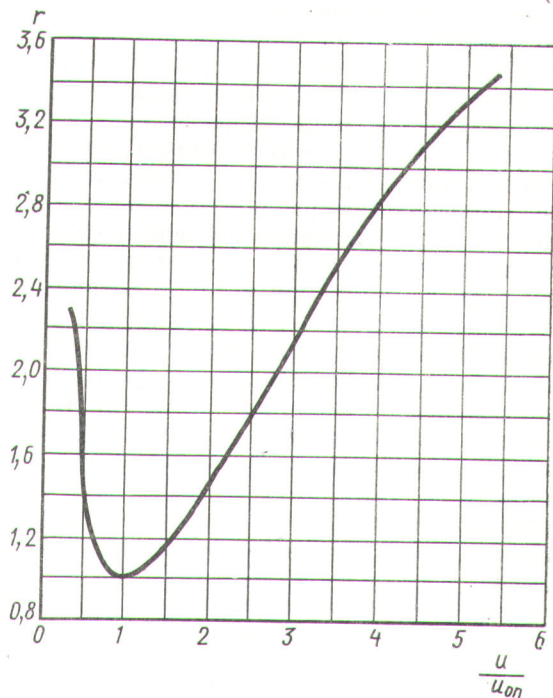


Рис. 2. Зависимость параметра r от отношения $u/u_{\text{оп}}$

где λ — постоянная распада; u — среднегодовая скорость ветра на высоте флюгера (10 м).

Учет реальной скорости ветра. Если среднегодовая скорость ветра u отличается от опасной скорости ветра $u_{оп}$, среднегодовой коэффициент разбавления $\bar{P}_{мин}^u$ может быть в соответствии с результатами работы [5] приближенно определен соотношением

$$\bar{P}_{мин}^u = r\bar{P}_{мин}, \quad (5)$$

где r — некоторый безразмерный параметр. Зависимость параметра r от отношения $u/u_{оп}$ представлена на рис. 2.

Для предприятий атомной промышленности, осуществляющих выброс на высоте 100 м ($u_{оп} = 1$ м/сек), при среднегодовых скоростях ветра порядка 2—5 м/сек разбавление увеличивается в 1,5—3 раза по сравнению с разбавлением при опасной скорости ветра. Зона минимального разбавления при этом, как следует из работы [5], несколько приближается к источнику:

$$x_{мин}^u = 0,8x_{мин}. \quad (6)$$

Учет климатологической вероятности осуществления условий развитого конвективного обмена. Вычисленные по формуле (2) значения минимального коэффициента разбавления соответствуют интенсивному вертикальному поступлению примеси в нижний двухметровый слой воздуха при развитом конвективном обмене, характерном для дневного времени летом. Продолжительность подобных условий для большинства районов Советского Союза, за исключением Средней Азии и Казахстана, составляет в среднем за год ~10% (для Средней Азии и Казахстана — 25 и 15% соответственно [9]).

В большинстве районов Советского Союза среднее за год состояние термической стратификации атмосферы ближе всего к нейтральному, или равновесному, при котором величина максимальной концентрации для высоких источников на 20—30% меньше, чем в условиях развитой конвекции. Следовательно, значения коэффициентов минимального разбавления, вычисленные в соответствии с формулой (2) или данными таблицы, содержат некоторый коэффициент запаса, который можно учесть, располагая сведениями о повторяемости различных категорий устойчивости в рассматриваемом районе.

Учет выпадения и вымывания примеси из струи. Выпадение радиоактивных продуктов из струи на поверхность земли в силу сравнительно малых размеров радиоактивных аэрозолей происходит главным образом за счет тур-

булентного осаждения и захвата радиоактивных частиц элементами выпадающих осадков. При усреднении за большие периоды времени, включающие дни с осадками и без осадков, поток радиоактивной пыли, направленный вниз, характеризуется некоторой суммарной скоростью оседания v_g , равной по результатам наших наблюдений и по литературным данным [10] ~1 см/сек.

Эффект турбулентного осаждения и вымывания примеси осадками, приводящий к уменьшению содержания примеси в струе, может быть учтен путем введения в коэффициент разбавления некоторого поправочного множителя [11]:

$$\bar{P}_{мин}^{вып} = \bar{P}_{мин} e^{-\frac{v_g x}{ul}},$$

где x — расстояние от источника выброса, м; u — среднегодовая скорость ветра, м/сек; l — линейный масштаб струи, равный примерно ее среднему диаметру, м.

Рассмотренные в настоящей работе особенности разбавления в атмосфере радиоактивной примеси связаны с распространением ее в приземном слое воздуха. Рекомендуются способы определения коэффициента разбавления могут быть использованы при расчетах ПДВ тех радиоактивных веществ, для которых нормированы величины среднегодового допустимого поступления в организм человека при вдыхании и СДК в атмосферном воздухе.

Поступила в Редакцию 16/XI 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. К. Дибобес и др. «Атомная энергия», 28, 463 (1970).
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ—69). М., Атомиздат, 1970.
3. Радиационная защита (Рекомендации МКРЗ, 1962 г.). Публикация 6. Перев. с англ. М., Атомиздат, 1963.
4. Основные нормы безопасности при защите от излучения (1967 г.). Серия изданий по безопасности. Вып. 9. Вена, МАГАТЭ, 1968.
5. Указания по расчету рассеяния в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (СН 369—67). Л., Гидрометеиздат, 1967.
6. Ю. С. О с н о в. «Изв. АН СССР. Серия «Физика атмосферы и океана», 5, 533 (1969).
7. F. W i p p e r m a n. Internat. J. Air and Water Pollution, 4, No. 1/6, 1 (1961).
8. R. S a c h d e v, S. N a d g i r. J. Appl. Meteorology, 8, No. 4, 527 (1969).
9. Климатический атлас СССР. Под ред. Ф. Ф. Давитая. Т. 1. М., Гидрометеиздат, 1960.
10. К. П. М а х о н ь к о. Оседание радиоактивной пыли и ее удаление из атмосферы осадками. М., Атомиздат, 1968.
11. L. K ö n i g, S. Z e h m e. Atompraxis, 11, N. 4/5, 191 (1965).