

Изотопных влагомеров основан на замедлении нейтронов. Быстрые нейтроны, попадая во влажное вещество, замедляются за счет столкновения с ядрами водорода воды, содержащейся в веществе. Количество замедленных нейтронов будет пропорционально содержанию влаги в веществе. По уже полученным оценкам приборы просты в эксплуатации и дают возможность быстро получить необходимый результат. Конструктивно нейтронный влагомер состоит из источника нейтронов, детектора нейтронов и регистрирующей схемы. В качестве источника нейтронов обычно используются полоний-бериллиевые источники. Так, измеритель влажности формовочного песка типа В-37-А системы КФКИ, разработанный в Венгрии, предназначен для измерения и контроля влажности материалов, которые не содержат углеводородов и поглотителей нейтронов (калий, индий). К этим материалам относятся формовочный песок, железная руда, строительные материалы и др. Полоний-бериллиевый источник излучает  $10^6$  нейтр/сек.

Для измерения медленных нейтронов применяется сцинтилляционный счетчик. Прибор измеряет влажность в пределах от 0 до 12% и от 0 до 6% веса материала. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 в, частотой 50 гц. Подвижная головка прибора имеет размеры  $525 \times 175 \times 135$  мм, измерительная головка —  $350 \times 30 \times 160$  мм. Вес подвижной головки составляет 7,5 кг, а измерительной головки 10,3 кг. Применение влагомеров на литейных и брикетных заводах Венгрии позволит уменьшить себестоимость выпускаемой продукции на 1—2%.

Дальнейшее развитие работ по внедрению радиоизотопных методов и приборов будет расширяться и углубляться, чему, несомненно, будут способствовать работы, проводимые в Постоянной комиссии Совета экономической взаимопомощи по использованию атомной энергии в мирных целях.

В. И. Синицын

## Дозы ионизирующего излучения, влияющие на состав атмосферы радиационных лабораторий

Как известно, под влиянием ионизирующего излучения концентрации кислорода и азота в воздухе уменьшаются и в нем появляются в небольших количествах высокотоксичные озон и окислы азота, а также другие, менее существенные компоненты. Представляет интерес оценить, насколько опасно для облучаемого персонала появление этих примесей.

Согласно литературным данным [1—4] при атмосферном давлении и температурах 10—30°C количества окислов азота и озона (вес. %), образующихся в воздухе под действием  $\gamma$ -излучения и нейтронов, могут быть определены по следующим соотношениям:

$$[\text{NO}_2] = 6,1 \cdot 10^{-9} E, \quad (1)$$

$$[\text{N}_2\text{O}] = 2,8 \cdot 10^{-9} E, \quad (2)$$

$$[\text{O}_3] = 15,7 \cdot 10^{-9} E, \quad (3)$$

$$[\text{NO}_2] = 3,2 \cdot 10^{-18} F, \quad (4)$$

$$[\text{N}_2\text{O}] = 1,4 \cdot 10^{-18} F, \quad (5)$$

$$[\text{O}_3] = 8,3 \cdot 10^{-18} F, \quad (6)$$

где  $E$  — доза облучения,  $p$ ,  $F$  — интегральный поток нейтронов, прошедших через воздух, нейтр/см<sup>2</sup>.

Закись азота наименее токсична из этих трех компонентов. Как видно из выражений (1) — (6), скорость ее образования значительно меньше по сравнению с озоном и двуокисью азота (в которую включено также и образование окиси азота, окисляющейся до двуокиси в воздухе). Таким образом, образованием закиси азота с точки зрения ее опасности для персонала можно пренебречь.

Озон и двуокись азота образуются и в естественных условиях под действием космического излучения, ультрафиолетовой радиации и других причин. Результаты анализов проб воздуха, отобранных при различных метеорологических условиях, а также значения доз облучения  $E_0$  и интегральных потоков нейтронов  $F_0$ , необходимых для получения концентраций примесей в воздухе искусственным путем при помощи облучения, даны в таблице.

Пороговые значения доз облучения и интегральных потоков нейтронов для атмосферного воздуха определяются в основном образованием озона и составляют  $50 \text{—} 200$  р и  $1 \text{—} 5 \cdot 10^{11}$  нейтр/см<sup>2</sup>. Таким образом, облучение воздуха дозами ниже  $\sim 100$  р и потоками нейтронов  $\sim 2 \cdot 10^{11}$  нейтр/см<sup>2</sup> в отношении образования вредных примесей может считаться совершенно безопасным. По санитарным правилам [5] предельно допустимая концентрация (ПДК) озона в воздухе рабочих помещений составляет  $10^{-4}$  мг/л или  $0,83 \cdot 10^{-5}\%$ , а ПДК двуокиси азота —  $10^{-3}$  мг/л или  $4,15 \cdot 10^{-4}\%$ . Соответственно из уравнений (1) и (3) получаем, что дозы, предельно допустимые по образованию вредных примесей в воздухе, составляют  $530$  р по озону и  $6,8 \cdot 10^4$  р по двуокиси азота. Следует отметить, что образующийся в воздухе озон очень неустойчив и быстро распадается. Поэтому в качестве оптимальной величины при температурах до 10—12°C может быть принята доза облучения  $10^3$  р, а при температурах выше 12—15°C —  $10^4$  р. Как видно из таблицы, эти значения несущественно превышают максимальное пороговое значение для образования озона и окислов азота в естественных условиях.

Из выражений (4) и (6) соответственно получаем, что предельно допустимое значение интегрального потока нейтронов по образованию озона составляет  $10^{12}$  нейтр/см<sup>2</sup>, а по двуокиси азота  $1,3 \cdot 10^{14}$  нейтр/см<sup>2</sup>. Учитывая тенденцию озона к разложению, в качестве предельно допустимой величины нейтронного потока можно взять  $10^{12}$  нейтр/см<sup>2</sup> при температурах ниже 15°C и  $10^{13}$  нейтр/см<sup>2</sup> при более высоких температурах. Как видно из таблицы, эти значения также несущественно превышают пороговые потоки нейтронов для образования озона и двуокиси азота в естественных условиях.

Следует отметить, что при облучении воздуха нейтронами образование радиоактивного углерода менее опасно, чем образование озона и двуокиси азота. Как следует из работ [1, 2], при облучении воздуха нейтронами радиоактивный углерод в 90—95% образуется в виде двуокиси углерода, причем при атмосферном

Содержание  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_3$  в воздухе и значения  $E_0$  и  $F_0$

Условия отбора проб воздуха	$[\text{NO}_2], \% \times 10^6$	$[\text{O}_3], \% \times 10^6$	$E_0, p$	$F_0, \text{нейтр}/\text{см}^2 \times 10^{11}$
В помещении . . . . .	1,1—1,3	0,4—0,7	25—213	0,5—4,0
В лесу . . . . .	2,5	4,9	312—410	5,9—7,8
В черте города . . . . .	3,6	1,2	76—590	1,4—11,2
При ясной погоде* . . . . .	1,1	1,3	82—181	1,6—3,4
При низкой облачности* . . . . .	2,6	2,2	140—425	2,7—8,1
При теплом фронте* . . . . .	1,6	2,0	127—262	2,4—5,0
При холодном фронте* . . . . .	2,1	4,6	293—344	5,5—6,5
На высоте 50 м** . . . . .	4,2	1,5	96—687	1,8—13,1
На высоте 200 м*** . . . . .	0,8	6,6	132—420	2,5—7,9
При антициклоне* . . . . .	2,2	3,5	220—351	4,2—6,8
Перед грозой* . . . . .	9,5	11,4	730—1550	13,7—29,5

\* На поле (Московская область).  
\*\* В черте города.  
\*\*\* В горном районе.

давлении и температурах  $0-30^\circ\text{C}$  ее концентрация (вес. %) определяется соотношением:

$$[\text{C}^{14}\text{O}_2] = 0,382 \cdot 10^{-21} F. \quad (7)$$

По санитарным правилам ПДК радиоактивного углерода для рабочих помещений составляет  $4 \cdot 10^{-9}$  *кюри/л* или (в пересчете на  $\text{C}^{14}\text{O}_2$ )  $2,9 \cdot 10^{-6}$  *мг/л*, что соответствует  $2,4 \cdot 10^{-7}\%$ . Согласно уравнению (7) для такой концентрации необходим интегральный поток нейтронов порядка  $10^{15}$  *нейтр/см<sup>2</sup>*, т. е. значительно больший, чем допустимый поток в отношении образования озона и даже двуокиси азота.

Полученные предельно допустимые значения доз облучения и интегральных потоков нейтронов, соответствующие ПДК озона и двуокиси азота в воздухе рабочих помещений, могут быть взяты в основу расчетов мощности вентиляционных установок.

Кратность воздухообмена в течение часа работы определяется следующими соотношениями:

$$\Gamma_I (< 15^\circ\text{C}) = 3,6I, \quad (8)$$

$$\Gamma_I (> 15^\circ\text{C}) = 0,36I, \quad (9)$$

$$\Gamma_f (< 15^\circ\text{C}) = 3,6 \cdot 10^{-9} f, \quad (10)$$

$$\Gamma_f (> 15^\circ\text{C}) = 3,6 \cdot 10^{-8} f, \quad (11)$$

где  $I$  — средняя мощность дозы облучения в помещении, *p/сек*;  $f$  — средний поток нейтронов в помещении, *нейтр/см<sup>2</sup>·сек*;  $\Gamma_I$  — кратность вентиляции по мощности дозы облучения;  $\Gamma_f$  — кратность вентиляции по потоку нейтронов.

Если считать, что естественная вентиляция обеспечивает полный воздухообмен в течение 6 ч работы (т. е.  $\Gamma \geq 0,17$ ), то минимальные мощности дозы облучения, при которых необходима принудительная вентиляция, составляют  $0,05-0,5$  *p/сек*. Таким образом, при соблюдении правил техники безопасности обычная работа в контакте с радиоактивными веществами вообще не требует дополнительной вентиляции из-за радиационно-химического образования вредных примесей в воздухе.

Мощность вентиляционной установки определяется условием:

$$N = 27,8 \cdot 10^{-5} \Gamma v, \quad (12)$$

где  $v$  — объем помещения, *м<sup>3</sup>*;  $N$  — мощность вентиляционной установки, *м<sup>3</sup>/сек*.

Следовательно, для того чтобы после прекращения облучения можно было войти в помещение, например объемом  $100 \text{ м}^3$ , в котором средняя мощность дозы облучения при температуре  $20^\circ\text{C}$  составляла  $0,1$  *p/сек*, необходима вентиляция мощностью  $N=1$  *л/сек*, что может обеспечиваться и естественным путем. Таким образом, дополнительная вентиляция необходима только для очень мощных излучателей, которые создают в рабочем помещении средние мощности дозы облучения, превышающие  $0,1$  *p/сек*.

М. Т. Дмитриев

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. Т. Дмитриев. «Атомная энергия», 15, 52 (1963); М. Т. Дмитриев, С. Я. Пшежецкий. Там же, 8, 59 (1960); С. Я. Пшежецкий, М. Т. Дмитриев. Там же, 3, 350 (1957).
2. М. Т. Дмитриев. «Ж. прикл. хим.», 36, 512 (1963); М. Т. Дмитриев. Там же, 36, 1123 (1963); М. Т. Дмитриев, Л. В. Сараджев, М. А. Минкович. Там же, 33, 808 (1960).
3. М. Т. Дмитриев. «Ж. физ. хим.», 32, 2418 (1958); М. Т. Дмитриев, С. Я. Пшежецкий. Там же, 33, 463 (1959); М. Т. Дмитриев, С. Я. Пшежецкий. Там же, 34, 880 (1960).
4. М. Т. Дмитриев, С. Я. Пшежецкий «Докл. АН СССР», 12, 369 (1959); С. Я. Пшежецкий, М. Т. Дмитриев. Там же, 103, 647 (1955).
5. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. М., Госатомиздат, 1960.