

В табл. 1 приведены результаты расчетов эффективности поглощения нейтронов энергией 14,1 МэВ при концентрации нейтроночувствительного элемента 10^{-2} н. Для сравнения результатов расчета с калибровочными измерениями, выполненными, например, с помощью радиоизотопного Pu-Be -источника нейтронов, может быть использована табл. 2.

Результаты численного расчета эффективности поглощения термоядерных нейтронов ядрами нейтроночувствительного элемента, изотропно распределенными в сцинтилляторе-замедлителе, указывают на перспективность применения описанных активационных детекторов в экспериментах по управляемому термоядерному синтезу. Следует ожидать, что эффективность регистрации нейтронов этими детекторами будет, по крайней мере, в несколько раз выше, чем в случае использования нейтроночувствительного элемента в виде фольги. Кроме того, такие детекторы позволяют не только измерять нейтронные вы-

ходы на термоядерных установках, но и определять спектральные характеристики нейтронного излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борзунов Н. А., Орлинский Д. В. — В кн.: Физика плазмы и проблемы управляемых термоядерных реакций. Т. 2. М., АН СССР, 1958, с. 150.
2. Mayer F., Brysk H. — Nucl. Instrum. Methods, 1975, v. 125, p. 323.
3. Ekdahl C. — Rev. Sci. Instrum., 1979, v. 50, p. 941.
4. Young F. — IEEE Trans. Nucl. Sci., 1975, v. 22, p. 718.
5. Бурцев В. А., Кузьмин В. А., Попытаев А. Н. Препринт К-0465. Л., изд. НИИЭФА, 1980.
6. Волобуев И. В. и др. — В кн.: Труды ФИАН СССР, 1977, т. 94, с. 21.
7. Young K. — IEEE Trans. Nucl. Sci., 1979, v. 26, p. 1234.

Поступило в Редакцию 02.02.81
В окончательной редакции 06.05.81

УДК 621.039.586

О критерии герметичности технологических боксов и реакторного здания АЭС

ИВАНЕНКО В. Н., ЗЫБИН В. А.

Ограждения боксов технологических систем и реакторное здание АЭС являются барьерами на пути распространения радиоактивных выбросов в случае аварии. При проектировании АЭС возникает задача разработки требований к герметичности этих барьеров. Ее решение зависит от типа постулированной аварии и допустимого выброса радионуклидов из боксов в обслуживаемые помещения и из здания в окружающую среду.

Пусть в результате аварийной ситуации в некотором помещении появляются радиоактивные аэрозоли или газы, удельная активность которых $c = c(t)$, а избыточное по отношению к окружающему пространству давление $\Delta p = \Delta p(t)$ (t — время). Под действием этого давления через неплотности ограждений помещения будет происходить утечка радиоактивной газовой среды. Обозначим объемный расход истечения через $L = L(t)$. Тогда скорость утечки радионуклидов

$$q = cL, \quad (1)$$

а радиоактивность выбросов, попавших за пределы помещения в ходе описываемого события,

$$Q = \int_0^{\tau} q dt = \int_0^{\tau} cL dt, \quad (2)$$

где τ — время истечения газа из аварийного помещения. Радиоактивность этих выбросов не должна превышать допустимого значения выброса в окружающую среду или соседнее помещение Q_d :

$$Q \leq Q_d. \quad (3)$$

Расход истечения газовой среды из аварийного помещения описывается приближенной формулой

$$L \approx K (\Delta p)^m, \quad (4)$$

где K — некоторый коэффициент пропорциональности, а m характеризует режим истечения среды из помещения.

Из формулы (4) следует, что коэффициент K можно рассматривать в качестве характеристики герметичности помещения. Используя формулы (2)–(4), находим K , при котором аварийный выброс Q не превышает Q_d :

$$K = \frac{Q_d}{\int_0^{\tau} c (\Delta p)^m dt}. \quad (5)$$

Определенное таким способом значение K должно учитываться в проектах технологических боксов и реакторного здания и контролироваться в процессе монтажа и эксплуатации АЭС. Практически контроль за значением K может проводиться путем замеров расхода истечения газовой среды при фиксированных перепадах давления.

Для иллюстрации рассмотрим конкретный пример АЭС с быстрым натриевым реактором. Предположим, что зависимости $c(t)$ и $\Delta p(t)$ можно аппроксимировать экспонентами

$$c(t) = c_0 e^{-at}; \quad (6)$$

$$\Delta p(t) = \Delta p_0 e^{-bt}, \quad (7)$$

а режим истечения среды ламинарный ($m = 1$). Тогда формула (5) примет вид

$$K = \frac{Q_d}{c_0 \Delta p_0 \int_0^{\tau} e^{-(a+b)t} dt}. \quad (8)$$

В качестве значения τ примем время, когда q достигает q_d — допустимой скорости выброса радионуклидов при нормальной работе станции. Тогда для τ получим

$$\tau = \frac{1}{a+b} \ln \frac{K c_0 \Delta p_0}{q_d}. \quad (9)$$

Из формул (8), (9) следует:

$$K = \frac{q_d + Q_d (a+b)}{c_0 \Delta p_0}. \quad (10)$$

Массовая концентрация аэрозольных продуктов горения натрия при крупных пожарах в технологических боксах может достигать порядка десятков г/м^3 [1], а удельная активность теплоносителя энергетических натриевых реакторов по ^{24}Na — порядка 10^{12} Бк/кг [2]. С учетом этого c_0 примем равной $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/м}^3$. На основе экспериментальных данных [3] предположим, что $a = 1 \text{ ч}^{-1}$; $\Delta p_0 = 10^4 \text{ Па}$; $b = 0,2 \text{ ч}^{-1}$.

Значение Q_d сильно зависит от параметров помещения, в которое поступают радиоактивные выбросы. Примем $Q_d = 3,7 \cdot 10^{11} \text{ Бк}$. Будем считать, что $q_d \ll Q_d (a+b)$. Из формулы (10) найдем $K \approx 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{ч} \cdot \text{Па})$. Отсюда допустимая утечка газовой среды из технологического бокса, например при $\Delta p = 10^3 \text{ Па}$, $L = 1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Значение K в каждом случае нужно определять с учетом конкретных характеристик возможной аварии, параметров технологических боксов и сред, в которые происходит истечение радионуклидов. Полученное в настоящей работе значение не является практической рекомендацией и служит только для иллюстрации предложенной методики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выломов В. В. и др. — Атомная энергия, 1975, т. 43, вып. 4, с. 286.
2. Юрченко Д. С. и др. — Там же, 1974, т. 36, вып. 2, с. 107.
3. IAEA Specialists Meeting on Sodium Fires and Prevention. Cadarache, 20-24 November 1978, IWGFR/28.

Поступило в Редакцию 26.02.81

УДК 621.039.517

Радиационные и термические испытания термонейтронных датчиков

ЗЛОКАЗОВ С. Б., АФАНАСЬЕВ П. Г., НАЛИВАЕВ В. И., ПАМПУРА В. Б., САФИН Ю. А., УВАРОВ В. И.

Для локального контроля за распределением плотности потока тепловых нейтронов в реакторе ИВВ-2М [1], а также для контроля за условиями облучения различных материалов в петлевых и ампульных экспериментальных каналах широко применяют термонейтронные датчики (ТНД) [2—4]. В настоящей работе представлены результаты исследования влияния температурных условий на характеристики ТНД.

Принцип действия ТНД основан на возникновении температурного перепада между чувствительным элементом датчика, содержащим делящийся изотоп, и окружающей средой при размещении прибора в поле тепловых нейтронов. Величина температурного перепада обуславливается энерговыделением в чувствительном элементе, а также температурой и теплофизическими свойствами элементов конструкции датчика и окружающей среды. Температура элементов датчика определяет их теплопрово-

дящие свойства, что, в свою очередь, оказывает влияние на сигнал датчика ε (э.д.с. дифференциальной термопары).

Для качественной оценки характера зависимости сигнала от плотности потока тепловых нейтронов и температуры окружающей среды рассмотрим модель теплофизических процессов в ТНД приведенной конструкции (рис. 1). Теплоотвод от чувствительного элемента датчика осуществляется с помощью теплопроводности через воздушный зазор и по термоэлементам к изолятору. При этом предположим, что термическое сопротивление изоляторов мало по сравнению с термическим сопротивлением воздушного зазора и термоэлементов благодаря сравнительно большим габаритам изоляторов и достаточно высокой теплопроводности окиси бериллия. Это предположение косвенно подтверждается экспериментальными результатами, полученными ранее [4]. Так, исследования ТНД с изоляторами из окиси бериллия, алюминия и циркония не выявили сколь-нибудь заметного различия в их чувствительности. Влияния изменения физических свойств металлокерамики под действием облучения до флюенса тепловых нейтронов $\sim 2 \cdot 10^{21}$ нейтр./см² на чувствительность ТНД также не замечено. Далее примем, что температура чувствительного элемента постоянна по его поверхности и равна температуре «горячего» спая дифференциальной термопары. Температура в местах контакта термоэлектродов с изоляторами и температура «холодного» спая равны температуре окружающей среды. Теплопроводность материалов конструкции датчика является линейной функцией температуры в интервале 350—1000 К [5, 6]. Допустим, что энерговыделение в чувствительном элементе — линейная функция плотности потока тепловых нейтронов Φ_T , э.д.с. дифференциальной термопары также линейна разности температуры чувствительного элемента и окружающей среды. С учетом вышесказанного, исходя из решения уравнения теплопроводности в цилиндрической геометрии для стационарного процесса и используя закон Фурье, можно показать, что между плотностью потока тепловых нейтронов Φ_T , температурой окружающей среды T и сигналом датчика ε (Φ_T , T) существует соотношение

$$\Phi_T = K_1 \varepsilon (\Phi_T, T) + K_2 \varepsilon^2 (\Phi_T, T) + K_3 \varepsilon (\Phi_T, T) T, \quad (1)$$

где Φ_T и T — независимые переменные; K_1 , K_2 , K_3 — константы, зависящие от геометрических размеров и теплофизических свойств элементов конструкции ТНД.

Эта зависимость получена на основании модели, значительно упрощающей реальные процессы теплообмена в датчике, тем не менее представляется целесообразным ее использование в практических целях при экспериментальном определении коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 для каждой модификации ТНД данного типа.

Для экспериментального определения соотношения между сигналом ТНД, плотностью потока тепловых нейтронов и температурой окружающей среды на исследо-

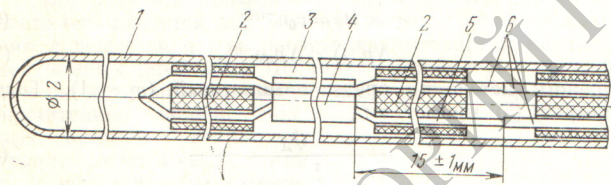


Рис. 1. Конструкция ТНД: 1 — корпус; 2 — изолятор; 3 — воздушный зазор; 4 — чувствительный элемент; 5 — хромелевый электрод; 6 — алюминиевый электрод

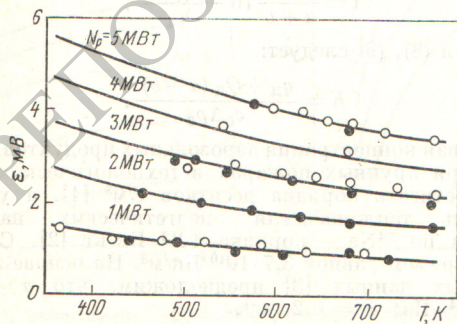


Рис. 2. Изменение сигнала ТНД в зависимости от температуры окружающей среды при различных уровнях мощности реактора: ●, ○ — экспериментальные значения для флюенса тепловых нейтронов $1 \cdot 10^{20}$ и $2 \cdot 10^{20}$ нейтр./см² соответственно; — — — расчетная кривая