

Исследование радонозащитных характеристик облицовочных изделий и материалов

А.В. Световидов, И.П. Стамат, В.А. Венков

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург

В статье рассматриваются вопросы, связанные с радонозащитными характеристиками облицовочных изделий и материалов. С использованием разработанной оригинальной методики определения коэффициента диффузии радона в пористых средах получены экспериментальные оценки его величины для керамических и керамогранитных облицовочных изделий, а также для ряда рулонных газо- и гидроизоляционных материалов. Показано, что использование этих изделий и материалов в строительстве современных зданий может давать значительный эффект снижения поступления радона в воздух помещений из массива ограждающих конструкций.

Ключевые слова: изотопы радона, радонозащитные мембраны, керамические и керамогранитные облицовочные изделия, рулонные газо- и гидроизоляционные материалы, диффузия радона через пористые среды, коэффициент диффузии и длина диффузии радона в материалах.

Введение

При обосновании допустимого содержания природных радионуклидов в керамических и керамогранитных изделиях, широко используемых в современном строительстве для внутренней облицовки помещений зданий, обычно эти изделия рассматриваются как источник дополнительного облучения населения за счет гамма-излучения природных радионуклидов в них и внутреннего облучения изотопами радона, которые выделяются из них в воздух помещений [1–3]. В принципе, такой подход обеспечивает определенный консерватизм при установлении гигиенического норматива и в целом должен оцениваться положительно, даже если уровень консерватизма при этом и не оценивается.

Между тем, в отличие от традиционных строительных изделий и материалов, керамические и керамогранитные изделия обладают достаточно плотной внутренней структурой, которая в процессе эксплуатации и старения меняется мало, поскольку эти изделия при производстве подвергаются обжигу при достаточно высоких температурах, что обеспечивает долговременную стабильность их свойств. Поэтому облицовочные изделия потенциально могут рассматриваться и как радонозащитная мембрана, использование которой для улучшения эстетических и эксплуатационных характеристик помещений одновременно способствует снижению притока изотопов радона в воздух помещений из массива основных строительных материалов и изделий. Последнее приобретает особенно важное значение в тех случаях, когда основным источником поступления радона в воздух помещений являются ограждающие конструкции зданий.

Учитывая сказанное, основная цель настоящих исследований состояла в определении коэффициента диффузии радона в керамических и керамогранитных облицовочных изделиях, значение которого и определяет радонозащитные свойства этих изделий. Анализ возможности использования существующих методов определения коэффициента диффузии радона через различные

мембраны показал, что использование их для определения радонозащитных характеристик облицовочных изделий затруднительно.

Традиционные методы определения коэффициента диффузии радона через различные виды строительных изделий условно можно разделить на несколько групп. Одни методы основаны на создании разности объемной активности (ОА) радона по разные стороны от мембран с последующим анализом динамики выравнивания ОА радона по разные стороны от них. В другой группе методов образцы строительных изделий помещаются в герметичную камеру, в которой определяется динамика роста ОА радона в воздухе [4–6].

В некоторых модификациях этой методики образцы строительных изделий герметизируются со всех сторон, кроме одной, к которой приклеивается накопительная или измерительная камера [6, 7]. Основная сложность в определении коэффициента диффузии радона через пористые материалы известными методами связана с измерением активности радона, диффундирующего через слой материала известной толщины. В некоторых методиках, например, при изоляции всех, кроме одной, стороны образца [6], при герметизации образца в накопительной камере небольшого объема [3] нарушаются граничные условия диффузии радона из экспериментального образца и значение коэффициента диффузии радона из него оказывается недооценено.

Кроме того, большинство известных методик позволяют корректно определять значение коэффициента диффузии радона через материалы, из которых скорость экскалляции радона близка к нулю. Поэтому прямое применение известных методик для определения коэффициента диффузии радона через керамические и керамогранитные облицовочные изделия затруднительно ввиду того, что сами эти изделия являются источником интенсивного выделения радона [2, 8]. Причем для глазурованных керамических изделий, в которых основная часть активности ^{226}Ra сосредоточена в тонком слое глазури на

лицевой стороне изделий, использование традиционных методов определения коэффициента диффузии оказываются неприменимым вообще.

Методика определения коэффициента диффузии радона в керамических и керамогранитных изделиях

Для определения коэффициента диффузии радона через керамические и керамогранитные облицовочные изделия нами разработана оригинальная методика, которая основана на математической модели диффузионного переноса радона через пористые среды. Один вариант этой математической модели, технически наиболее простой, является более приемлемым для экспериментального определения коэффициента диффузии через неэманлирующие среды – различного рода рулонные гидро- и газоизоляционные материалы, которые широко используются в современном строительстве зданий различного назначения.

Второй вариант математической модели диффузии радона через эманлирующие среды, такие как бетоны, облицовочные изделия и т.д. позволяет разделить поток радона через эти изделия, обусловленный эксхалацией радона из самих изделий, от диффузионного потока радона через изделия, связанный с разностью ОА радона по разные стороны от них.

Оба этих варианта математической модели диффузионного переноса радона через пористые среды в последующем использованы для экспериментального определения коэффициента диффузии радона через рулонные материалы, образцы бетонов и облицовочные изделия в серии экспериментальных исследований.

Первый вариант модели диффузионного переноса радона через пористые среды реализован следующим образом. К открытому торцу цилиндрической металлической емкости приклеивается образец материала (рис. 1), а место стыка изолируется специальным герметиком, толщина которого подбирается из условия обеспечения кратности ослабления потока радона не менее 100.

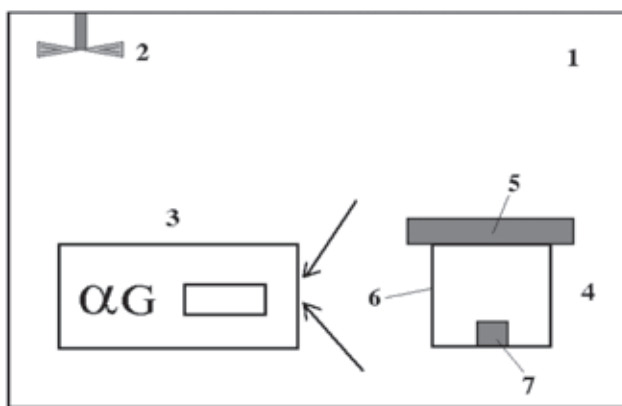


Рис. 1. Схематическое изображение установки для определения коэффициента диффузии (вариант 1): 1 – РК ОУ, 2 – вентилятор, 3 – радон-монитор, 4 – цилиндрическая емкость в сборе с образцом радонозащитной мембраны 5 и металлическим стаканом 6, 7 – генератор радона

Внутри цилиндрической емкости объемом V_0 см³ и площадью открытого торца S_0 см² размещается сухой генератор радона на основе образцового источника ²²⁶Ra активностью около 16,3 кБк. Далее вся указанная система помещается в рабочую камеру образцовой установки (РК ОУ) объемом 750 ± 15 дм³. Одновременно в РК ОУ устанавливается радон-монитор AlphaGUARD Mod. PQ 2000 для непрерывной регистрации ОА радона в воздухе, после чего РК ОУ герметизируется.

Динамика накопления радона в воздухе РК ОУ описывается системой уравнений:

$$\frac{dA}{dt} = D \cdot S_0 \cdot \frac{\Delta C}{\Delta h} \quad (1)$$

$$\frac{dC_{\text{РК}}}{dt} = \frac{1}{V} \cdot \frac{dA}{dt} - \lambda \cdot C_{\text{РК}}$$

где $\frac{dA}{dt}$ – интенсивность выделения радона в воздух РК ОУ через образец радонозащитной мембраны, Бк/с;

D – коэффициент диффузии радона в материале мембраны, см²/с;

S_0 – площадь образца радонозащитной мембраны, через которую происходит диффузия радона в воздух РК ОУ, см²;

ΔC – разность ОА радона в воздухе цилиндрической емкости и в РК ОУ, Бк/м³;

Δh – толщина образца радонозащитной мембраны, см;

V – объем РК ОУ, м³;

$C_{\text{РК}}$ – ОА радона в воздухе РК ОУ, Бк/м³;

$\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ – постоянная радиоактивного распада ²²²Rn.

Решение системы уравнений (1) для ОА радона в воздухе РК ОУ при начальном условии $C_{\text{РК}}(t=0) = 0$ в предположении малых времен диффузии (менее 5 суток) при дополнительных условиях:

$$C_0 = \text{const} \text{ и } C_0 \gg C_{\text{РК}} \quad (2)$$

имеет вид:

$$\Delta C(t) \cong \Delta t (D \cdot C_0 \cdot S_0) / (\Delta h \cdot V) \quad (3)$$

где $\Delta C(t)$ – прирост ОА радона в воздухе РК ОУ (Бк/м³) за промежуток времени Δt (с);

C_0 – ОА радона в воздухе цилиндрической емкости, Бк/м³.

Заметим, что оба условия (2) соблюдаются с большой точностью в силу следующих причин. Соблюдение первого из них достигается за счет того, что цилиндрическая емкость с генератором радона до помещения ее в РК ОУ выдерживается в комнатной атмосфере не менее 3–5 суток для достижения равновесной ОА радона в ее объеме.

Выполнение второго из них обеспечивается тем, что ОА радона в воздухе цилиндрической емкости к началу экспериментальных исследований составляет около $6,0 \times 10^7$ Бк/м³, в то время как ОА радона в воздухе РК ОУ через 3–5 суток после начала испытаний не превышает $n \times 10^3$ Бк/м³ даже для радонозащитных мембран с очень высокими значениями коэффициента диффузии радона.

Из уравнения (3) можно определить численное значение коэффициента диффузии радона D в испытываемом материале, если известны значения входящих в уравне-

ние величин (C_0 , S_0 , Δh и V) и определено значение отношения $\Delta C(t)/\Delta t$ по результатам измерений ОА радона в воздухе РК ОУ в зависимости от времени:

$$D = \frac{\Delta C(t)}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta h \cdot V}{C_0 \cdot S_0} \quad (4)$$

Наиболее просто определить численное значение отношения $\Delta C(t)/\Delta t$ для начального периода накопления радона в воздухе РК ОУ в первые 3–5 суток, когда форма кривой изменения ОА радона в ней близка к линейной.

Зная значение коэффициента диффузии радона в материале радонозащитной мембраны, можно определить длину диффузии радона в нем l (см), которая соответствует толщине слоя материала, при прохождении которого поток радона снижается в $e = 2,72$ раза:

$$l = \sqrt{D / \lambda}, \quad (5)$$

где $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ – постоянная радиоактивного распада ^{222}Rn .

Определенным недостатком данной методики является возможность экспериментального определения радонозащитных характеристик единичных образцов материалов при длительности каждого цикла исследований не менее 10 суток. Однако в техническом отношении она довольно простая и обеспечивает достаточно хорошо воспроизводимые результаты.

Второй вариант методики определения коэффициента диффузии радона через пористые материалы, включая и керамические, и керамогранитные облицовочные изделия, реализован с использованием технологии интегральной трековой радиометрии радона в воздухе. При этом в качестве чувствительного элемента для измерений использовался нитратцеллюлозный трековый детектор типа Kodak LR-115 Type II.

На образцы рулонных материалов или облицовочных изделий размером от 100×100 до 500×500 мм приклеивалось не менее 5 измерительных камер с трековым детектором марки Kodak LR-115 Type II таким образом, чтобы по возможности минимизировать приток радона в измерительные камеры через боковые поверхности исследуемых образцов. Учитывая, что толщина исследуемых образцов обычно составляет от 1–2 мм (рулонные материалы) до 10–12 мм (керамические и керамогранитные изделия), а диаметр используемых измерительных камер с трековым детектором не превышает 50 мм, при таких размерах образцов это условие легко выполняется, если измерительные камеры располагаются в средней части исследуемых образцов.

Для контроля диффузии радона в измерительные камеры через слой герметика, которым они приклеивались к образцам рулонных материалов и керамических и керамогранитных изделий, использовался контрольный образец из оргстекла размером 300×300 мм и толщиной 6 мм. Контрольный образец, на который приклеивалось не менее 5 измерительных камер с трековым детектором, помещался для одновременного экспонирования вместе с исследуемыми радонозащитными материалами в рабочую камеру или в комнатных условиях (рис. 2).

Определение коэффициента диффузии радона в керамических и керамогранитных изделиях производится в два этапа. На одном из них определяется плотность потока радона из изделий, обусловленная эксхалацией

радона из них (см. рис. 2), после чего цикл измерений повторяется с экспонированием образцов керамических и керамогранитных изделий в радоновой атмосфере РК ОУ (рис. 3).

Подготовленные для исследований образцы рулонных материалов или облицовочных изделий помещаются в герметичную рабочую камеру образцовой установки, которую после герметизации подается газообразный радон в количестве, достаточном для установления в ней объемной активности радона на уровне 15–25 кБк/м³. Для непрерывного контроля ОА радона в воздухе РК ОУ используется радон-монитор типа AlphaGUARD PQ 2000 PRO.

Можно показать, что процесс диффузии радона в объем измерительных камер с трековым детектором описывается уравнением:

$$\frac{dC(\tau)}{d\tau} = \frac{D}{\Delta h \cdot h_k} [C_{RK}(\tau) - C(\tau)] - \lambda \cdot C(\tau), \quad (6)$$

где D – коэффициент диффузии радона через образец рулонного материала, см²/с;

$C(\tau)$ – ОА радона (Бк/м³) в воздухе измерительной камеры в момент времени τ (с);



Рис. 2. Экспонирование подготовленных для исследований образцов облицовочных изделий в комнатных условиях при непрерывном контроле ОА радона в воздухе. В левой верхней части – контрольный образец оргстекла с приклеенными измерительными камерами с трековым детектором



Рис. 3. Экспонирование образцов облицовочных изделий в РК ОУ при непрерывном контроле ОА радона в воздухе. На ближнем плане – контрольный образец оргстекла с измерительными камерами

λ – постоянная распада радона, равная $2,097 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$;
 Δh – толщина образцов исследуемого материала, см;
 h_K – высота измерительной камеры с трековым детектором, которая составляет 3,3 см;

$C_{RK}(\tau)$ – объемная активность радона в воздухе рабочей камеры в момент времени τ , Бк/м³.

Учитывая незначительный объем экспериментальных образцов исследуемых материалов и измерительных камер (обычно он составляет менее 5 дм³ и не превышает 1 % от объема РК ОУ) и высокую степень герметичности РК ОУ, динамика изменения ОА радона в воздухе рабочей камеры $C_{RK}(\tau)$ определяется практически только его распадом и описывается простым уравнением радиоактивного распада радона:

$$C_{RK}(\tau) = C_{RK}(\tau = 0) \cdot \exp(-\lambda \cdot \tau), \quad (7)$$

где $C_{RK}(\tau = 0)$ – ОА радона в воздухе рабочей камеры в начальный момент времени $\tau=0$.

Введя обозначения:

$$\frac{D}{\Delta h \cdot h_K} \equiv a \text{ и } \frac{D}{\Delta h \cdot h_K} + \lambda \equiv b, \quad (8)$$

и подставив (7) в уравнение (6), получим уравнение, описывающее динамику изменения ОА радона в воздухе измерительных камер с трековым детектором:

$$\frac{dC(\tau)}{d\tau} = a \cdot C_{RK}(\tau = 0) \cdot \exp(-\lambda \cdot \tau) - b \cdot C(\tau). \quad (9)$$

Учитывая, что в начальный момент времени $\tau=0$ объемная активность радона в объеме измерительной камеры близка к нулю (не превышает ОА радона в воздухе помещения и составляет не более 20–30 Бк/м³), решение уравнения (9) можно представить в следующем виде:

$$C(\tau) = \frac{a \cdot C_{RK}(\tau = 0)}{\lambda - b} \cdot [\exp(-b \cdot \tau) - \exp(-\lambda \cdot \tau)]. \quad (10)$$

Далее учтем, что плотность треков на поверхности трекового детектора при интегральных измерениях ОА радона в воздухе прямо пропорциональна среднему значению ОА радона в воздухе экспериментальной камеры в период экспонирования. Это связано с тем, что в технологии трековой радиометрии радона непосредственно измеряемой величиной является «интегральная ОА радона в воздухе» \bar{C} , которая определяется соотношением:

$$\bar{C} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T C(\tau) \cdot d\tau, \quad (11)$$

где T – время экспонирования экспериментальных образцов с трековыми детекторами в измерительной камере, с.

Подставляя далее (10) в (11) и беря в общем виде определенный интеграл, получим:

$$\bar{C} = \frac{a \cdot C_{RK}(\tau = 0)}{T \cdot (\lambda - b)} \cdot \left[\frac{\lambda - b}{\lambda \cdot b} + \frac{\exp(-\lambda \cdot T)}{\lambda} - \frac{\exp(-b \cdot T)}{b} \right]. \quad (12)$$

Из обозначений (8) следует, что $b > \lambda$ по крайней мере на величину $\frac{D}{\Delta h \cdot h_K}$, так что при времени экспонирования интегральных трековых детекторов в рабочей камере

ре $T > 1/\lambda$ экспоненты в (12) с достаточно приемлемой точностью можно заменить приближенными выражениями следующего вида: $\exp(-x) \approx 1 - x + x^2/2$.

С учетом этого, получим расчетное выражение для определения численного значения коэффициента диффузии радона в образцах рулонных материалов в следующей форме:

$$D = \frac{\bar{C}}{C_{RK}(\tau = 0)} \cdot \frac{2 \cdot h_K \cdot \Delta h}{T}, \text{ см}^2/\text{с}. \quad (13)$$

В формуле (13) все величины могут быть измерены непосредственно (h_K и Δh) либо определены в процессе экспериментальных исследований – \bar{C} и $C_{RK}(\tau = 0)$, так что она позволяет определить коэффициент диффузии радона в материале образцов при известных значениях входящих в формулу (8) величин.

Если образцы исследуемых материалов, как керамические и керамогрантные изделия, сами являются источником радона, то расчетная формула для определения коэффициента диффузии в этом случае имеет вид:

$$D = \frac{\bar{C} - C_{\phi}}{C_{RK}(\tau = 0)} \cdot \frac{2 \cdot h_K \cdot \Delta h}{T}, \text{ см}^2/\text{с}, \quad (14)$$

где C_{ϕ} – интегральная ОА радона по данным экспонирования облицовочных изделий в комнатных условиях (см. рис. 2).

Результаты экспериментальных исследований

Разработанные варианты методики использованы для определения коэффициента диффузии радона через пористые материалы, в том числе через керамические и керамогрантные облицовочные изделия, в экспериментальных условиях. В этих исследованиях значения коэффициента диффузии радона определены для целого ряда магнезиальных бетонов, рулонных гидро- и газоизоляционных материалов, а также отдельных видов керамических и керамогрантных изделий.

Определение коэффициента диффузии радона в образцах магнезиального бетона выполнено по первому варианту разработанной методики (рис. 4), поскольку удельная активность ²²⁶Ra в них составляла менее 10 Бк/кг, а фоновая плотность потока радона из образцов не превышала минимально определяемое значение показателя $1 \cdot 10^{-4}$ мБк/(м²·с) при экспонировании трековых детекторов до 10 суток.



Рис. 4. Экспонирование образцов магнезиального бетона в РК ОУ

Исходные данные и результаты расчета численного значения коэффициента диффузии и длины диффузии радона в одном из образцов магнезиального бетона толщиной 1 см приведены в таблице 1. Отметим, что в настоящее время известно достаточно большое число марок магнезиальных бетонов с различными видами наполнителей. Эти бетоны и сухие смеси производятся на основе вяжущего материала, в качестве которого используется магнезитовый порошок, а в качестве наполнителя применяют тонко молотый порошок шунгита, золу от сжигания осадка сточных вод и др. Обычно соотношение основных компонент (вяжущего и наполнителя) в сухих смесях составляет от 2:1 до 4:1.

Таблица 1

Исходные данные и результаты определения коэффициента диффузии и длины диффузии радона в образце магнезиального бетона

Параметр (физическая величина) и его размерность	Численное значение
Площадь диффузии S_0 , см ²	21,2 ± 2,0
Толщина образцов бетона Δh , см	2,0 ± 0,1
Объем цилиндрической емкости V_0 , см ³	102,0 ± 5,0
ОА радона в воздухе цилиндрической емкости C_0 , Бк/м ³	(6,0 ± 0,3) * 10 ⁷
Объем рабочей камеры ОУ V , дм ³	750 ± 15
Численное значение отношения $\Delta C(t)/\Delta t$, Бк/(м ³ *с)	4,26 * 10 ⁻³
Значение коэффициента диффузии радона в магнезиальном бетоне D , см ² /с	(5,0 ± 1,1) * 10 ⁻⁶
Длина диффузии радона в магнезиальном бетоне l , см	1,55 ± 0,35

Для разных марок магнезиальных бетонов значения коэффициента диффузии радона находятся в диапазоне (0,53–5,70) * 10⁻⁶ см²/с, а длина диффузии радона в них составляет 0,50–1,65 см.

Из числа рулонных материалов для экспериментальных исследований были выбраны два вида материалов марки «FATRAFOL» зарубежного производства и более 10 марок рулонных материалов разных отечественных производителей. Исследования материалов марки «FATRAFOL» и других рулонных материалов выполнены в

соответствии со вторым вариантом разработанной методики при однократном экспонировании экспериментальных образцов в РК ОУ, поскольку сами эти материалы не содержат ²²⁶Ra и не являются источником выделения радона. Определение диффузионных свойств двух других видов рулонных материалов выполнено по первому варианту методики. Отметим, что исходно все рулонные материалы российских производителей выпускаются ими для использования в качестве гидро- и/или газоизоляционных покрытий строительных конструкций подземных элементов зданий и перекрытий верхних этажей. В редких случаях отдельные изготовители этих материалов интересуются их радонозащитными свойствами.

Исходные данные по ОА радона в воздухе измерительных камер и рабочей камере образцовой установки, а также результаты расчетов по определению коэффициента диффузии радона через отдельные марки рулонных материалов и длины диффузии радона в них приведены в таблице 2.

Как следует из данных таблицы 2, длина диффузии радона в двух типах исследованных рулонных материалов составляет 0,6–4,0 мм, что позволяет считать их достаточно перспективными для использования в качестве радонозащитных мембран в объектах строительства различного назначения. Несколько менее перспективными для этих целей представляются рулонные материалы типа ИЗОПЛАСТ разных марок, в которых длина диффузии радона примерно в два-три раза больше.

Для анализа диффузионных свойств керамических и керамогранитных изделий были выбраны образцы этих изделий непосредственно из торговой сети. Основными критериями при выборе образцов этих изделий являлись удельная активность ²²⁶Ra в них и эффективная удельная активность природных радионуклидов. Данные о содержании природных радионуклидов в образцах этих облицовочных изделий, а также результаты определения плотности потока радона (ППР) с поверхности этих изделий приведены в таблице 3.

Заметим, что численные значения плотности потока радона с поверхности образцов керамических изделий в таблице 3, полученные с использованием технологии трековой радиометрии радона, оказались достаточно близкими к значениям, приведенным для этих же образцов в экспериментальных исследованиях в [2].

Таблица 2

Исходные данные и результаты определения коэффициента диффузии и длины диффузии ²²²Rn в разных типах рулонных материалов

Марка материала	Экспозиция $T \cdot 10^{-5}$, с	\bar{C} , Бк/м ³	$C_{РК}(\tau=0)$, кБк/м ³	$D \cdot 10^6$, см ² /с	l , мм
FATRAFOL	1,2096 * 10 ⁶	132–262	15,6	(0,69–1,37) * 10 ⁻²	0,57–0,81
Абрис С	(0,864–1,296) * 10 ⁵	–	5,0–15,6	0,42–2,9	1,50–4,00
ИЗОПЛАСТ	6,048 * 10 ⁵	–	4,7–5,9	1,4–1,8	8,0–9,0

Таблица 3

Основные радиологические характеристики образцов керамических и керамогранитных облицовочных изделий

Тип керамических изделий	Размеры изделий (толщина D_h), см	УА ²²⁶ Ra, Бк/кг	$A_{эфф}$, Бк/кг	ППР * 100, мБк/(м ² * с)
Плитка керамогранитная	60 * 60 (1,0)	145 ± 15	310 ± 35	0,25
Плитка керамическая глазуванная	60 * 60 (1,0)	180 ± 20	485 ± 50	0,6–3,5

Из данных таблицы 4 следует, что значение коэффициента диффузии радона в исследованных образцах керамогранитных и глазурованных керамических изделий практически совпадает с данными для отдельных видов рулонных материалов. Конечно, полученные результаты требуют дополнительных исследований, в том числе для разных видов керамических и керамогранитных облицовочных изделий разных производителей. Возможно, что не все виды этих изделий разных производителей имеют схожие радонозащитные свойства. Тем не менее, полученные результаты внушают определенный оптимизм относительно возможности использования облицовочных изделий в качестве радонозащитных покрытий ограждений зданий различного назначения.

Для решения задач по изоляции источников поступления радона в здания необходимы материалы, которые позволяют эффективно снижать приток радона в воздух помещений. Причем для достижения долгосрочного эффекта важно иметь радонозащитные материалы с низкими значениями коэффициента диффузии радона, которые в процессе эксплуатации зданий не теряют свои свойства. По-видимому, керамические и керамогранитные облицовочные изделия могут оказаться наиболее подходящими с точки зрения долговременного сохранения радонозащитных свойств, тем более что эти изделия являются практически единственными, которые допущены к применению в помещениях жилых и общественных зданий.

Таблица 4

Исходные данные и результаты определения коэффициента диффузии и длины диффузии ^{222}Rn в образцах облицовочных изделий

Тип керамических изделий	Экспозиция Т, с	\bar{C} , Бк/м ³	$C_{\text{РК}}(\tau=0)$, Бк/м ³	C_{Φ} , Бк/м ³	D, см ² /с	l, мм
Плитка керамогранитная	$1,47 \cdot 10^6$	180	15 300	30	$4,40 \cdot 10^{-8}$	1,45
Плитка керамическая глазурованная	$6,12 \cdot 10^5$	210	12 700	55	$1,32 \cdot 10^{-7}$	2,50

Заключение

Известно, что основным источником поступления радона в здания является подпочвенное пространство под зданиями. Вторым по интенсивности поступления радона в помещения является материал ограждающих конструкций зданий. Первый источник проявляется обычно на территориях с повышенной потенциальной радоноопасностью, а вклад второго источника в баланс радона в воздухе помещений наблюдается во всех случаях, когда стены и перекрытия зданий изготовлены из природных строительных материалов. По этой причине повышенные уровни ЭРОА изотопов радона часто наблюдаются в помещениях верхних этажей многоэтажных зданий, куда радон из подпочвенного пространства под зданием практически не поступает.

Ясно, что независимо от источника интенсивного поступления радона в воздух зданий в некоторых случаях требуются определенные мероприятия по их радонозащите. На стадии проектирования зданий наиболее эффективными являются мероприятия по изоляции источника радона с применением различных «радонозащитных мембран»: возведение монолитной железобетонной плиты под зданиями, применение многослойных газо- и гидроизоляционных материалов и т.д.

После окончания строительства и при эксплуатации зданий фактически единственным мероприятием снижения ЭРОА радона в воздухе помещений на верхних этажах зданий остается увеличение кратности воздухообмена в них. Однако эта мера имеет свои ограничения как в плане сохранения теплового баланса зданий, так и в гигиеническом аспекте, поскольку повышение кратности воздухообмена одновременно приводит к росту подвижности воздуха в помещениях, что создает определенный дискомфорт для людей. В таких случаях, на наш взгляд, наиболее эффективным является увеличение кратности воздухообмена помещений с одновременной изоляцией отдельных участков ограждений с наибольшими уровнями эксхалляции радона.

В заключение приведем сравнительные данные по диффузионным свойствам наиболее широко используемых в современном строительстве материалов (табл. 5).

Как следует из данных таблицы 5, наилучшими радонозащитными свойствами обладают отдельные марки рулонных материалов, среди которых выделяется специальная радонозащитная мембрана марки «Monaflex RMB 400», которая, судя по названию, исходно производится для радонозащиты зданий. Все остальные материалы, в том числе рулонные, включая и Фатрафол, производятся как традиционные строительные или газо- и гидроизоляционные материалы. Среди бетонов наилучшими радонозащитными свойствами обладают магнезиальные бетоны, в которых длина диффузии радона примерно на порядок ниже, чем в тяжелых бетонах и кирпиче.

Таким образом, выполненные исследования и анализ полученных экспериментальных результатов позволяют сформулировать следующий общий вывод: большинство традиционных строительных материалов, а также рулонных газо- и гидроизоляционных материалов в различной мере способствуют снижению поступления радона в воздух зданий.

Среди этих материалов достаточно перспективными для применения в качестве радонозащитных материалов являются отдельные виды рулонных материалов, а также керамические и керамогранитные облицовочные изделия, широко используемые в современном строительстве. Несмотря на то, что сами керамические и керамогранитные изделия являются источником поступления радона в воздух помещений, низкие значения коэффициента диффузии радона в этих изделиях позволяют рассматривать их в качестве покрытия, сохраняющего свои радонозащитные свойства практически на весь период жизненного цикла зданий. Для оценки перспектив использования керамических и керамогранитных изделий для радонозащиты зданий необходимы специальные исследования радонозащитных свойств шовных заполнителей, в том числе и в процессе их твердения и сушки.

Исходные данные и результаты определения коэффициента диффузии и длины диффузии ^{222}Rn в образцах облицовочных изделий

Строительные материалы (изделия)	D, см ² /с	l, мм
Бетоны легкие [4, 6, 7]	$1,4 \cdot 10^{-3}$	260
Бетоны тяжелые [4, 6, 7]	$3,5 \cdot 10^{-4}$	130
Бетоны тяжелые [3]	$7 \cdot 10^{-5}$	60
Магнезиальные бетоны разных марок	$(0,53-5,70) \cdot 10^{-6}$	5,0-16,5
Кирпич красный [4, 6, 7]	$4,7 \cdot 10^{-4}$	150
Кирпич [3]	$3,5 \cdot 10^{-3}$	400
Рулонный материал «Техноэласт» [9]	$(1,26-1,44) \cdot 10^{-6}$	7,70-8,30
Рулонный материал «Техноэласт М» [9]	$(0,84-1,04) \cdot 10^{-6}$	6,32-7,03
Радонозащитная мембрана «Monaflex RMB 400» (Дания). Цит. по [9]	$(8-11) \cdot 10^{-12}$	0,02
Рулонные материалы марки Фатрафол	$(0,70-1,37) \cdot 10^{-8}$	0,57-0,81
Рулонные материалы марки Абрис С	$(0,42-2,90) \cdot 10^{-6}$	1,50-4,00
Рулонные материалы марки Изопласт	$(1,40-1,80) \cdot 10^{-6}$	8,0-9,0
Плитка керамогранитная	$4,40 \cdot 10^{-8}$	1,45
Плитка керамическая глазурованная	$1,32 \cdot 10^{-7}$	2,50

Большинство отечественных производителей строительных изделий и материалов, в том числе и производители рулонных газо- и гидроизоляционных материалов, выпускают свою продукцию для использования ее по прямому назначению. Сведений о производстве специальных радонозащитных материалов в нашей стране в доступной литературе найти не удалось. На рынке радонозащитных материалов представлены магнезиальные бетоны отечественного производства, а также некоторые виды специальных радонозащитных мембран зарубежного производства.

Литература:

1. Yahong, M. Physical Models and Limits of Radionuclides for decorative building Materials / M. Yahong, L. Yigang, F. Yuchuan // Health Phys. – 2006. – V. 90. – P. 471–475.
2. Стамат, И.П. Оценка вклада эманирования радона с поверхности облицовочных изделий в облучение населения / И.П. Стамат, А.В. Световидов, Д.И. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 4. – С. 16–22.

3. Keller, G. Radon Permeability and Radon Exhalation of building Materials / G. Keller, B. Hoffman, T. Feigenspan // Radon in the Living Environment. –Athens, 1999. – P. 1271–1278.
4. Крисюк, Э.М. Радиационный фон помещений / Э.М. Крисюк. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
5. Гулябянц, Л.А. Экспериментальное устройство для измерения коэффициента диффузии радона в материалах / Л.А. Гулябянц, А.А. Цапалов // АНРИ. – 2006. – № 4 (47). – С. 35–37.
6. Шалак, Н.И. Обоснование метода оценки и исследование радиоактивности строительных материалов : автореф. дисс. ...канд. техн. Наук / Н.И. Шалак. – М., 1974 г. – 28 с.
7. Королева, Н.А. Выделение радона из строительных материалов в жилищах / Н.А. Королева, Н.И. Шалак, Э.М. Крисюк // Гигиена и санитария. – 1985. – № 7. – С. 64–66.
8. O'Brien, R.S. Radon exhalation rates and gamma doses from ceramic tiles / R.S. O'Brien, H. Aral, J.R. Peggie // Health Phys. – 1998. – V. 75 (6). – P. 630–639.
9. Гулябянц, Л.А. Определение коэффициента диффузии радона в бетоне и изоляционных материалах / Л.А. Гулябянц, А.А. Цапалов // АНРИ. – 2008. – № 2 (53). – С. 44–48.

A.V. Svetovidov, I.P. Stamat, V.A. Venkov

Investigation of radon-protective characteristics of facing products and materials

Saint-Petersburg Science Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Saint-Petersburg

Abstract. An article considers the issues connected with radon-protective characteristics of facing products and materials. Experimental estimations are obtained of the radon diffusion factor for ceramic and stoneware facing products and for the number of rolled gas- and waterproof materials with the use of developed original methodic of radon diffusion factor estimation in the porous medium. It is shown that the use of these products and materials in the process of modern buildings construction could give considerable effect of the radon inflow reducing into indoor air from the block of enclosing constructions.

Key words: radon isotopes, radon-protective membrane, ceramic and stoneware facing products, rolled gas- and waterproof materials, radon diffusion through the porous medium, radon diffusion factor and radon diffusion length through the material.

И.П. Стамат
E-mail: istamat@mail.ru

Поступила: 25.08.2014 г.