

**Федеральное государственное учреждение науки «Санкт-Петербургский  
научно-исследовательский институт радиационной гигиены  
имени профессора П.В. Рамзаева»**

(Главной испытательный центр продукции, содержащей источники ионизирующего излучения)

197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, 8

Тел/факс (812) 232 04 54, 232 43 29

016 - 2011

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГУН НИИРГ,  
д.м.н., профессор



И.К. Романович

" 21 " февраля 2011 года

## **ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**по результатам определения диффузионных характеристик  
образцов бетона на основе сухих строительных смесей ТМ  
АЛЬФАПОЛ марки «К», «КИ», «КР» «ШТ-200» и «ШТ «Барит»  
производства ООО «АЛЬФАПОЛ» (Санкт-Петербург)**

**1. На экспертизу представлены следующие документы и материалы:**

1.1. Протокол лабораторных испытаний ИЛЦ ФГУН НИИРГ № 008-Rп/2011 от 04.02.2011 г.

**2. Краткое описание объекта экспертизы**

Для определения коэффициента диффузии радона в образцах строительных материалов (бетонов), изготовленных из сухих напольных строительных смесей ТМ АЛЬФАПОЛ марок КР, КИ, К (санитарно-эпидемиологическое заключение на материалы № 78.01.06.574.П.016079.09.09, ТУ 5745-001-82166262-2001) и штукатурных смесей марок ШТ-200, ШТ-БАРИТ (санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию № 78.01.06.574.П.011790.06.08, ТУ 5745-004-82166262-2004), использовались образцы в виде плиток (далее по тексту – образцы) толщиной около 20 мм и размерами 300х300 мм, которые изготавливались заказчиком в соответствии с рецептурой предприятия-изготовителя и патентами на изобретения сухих строительных смесей № 2233255 и № 2388715. Образцы перед экспериментальными исследованиями подвергались сушке в естественных условиях в течение не менее 28 суток.

**3. Описание методики по определению коэффициента диффузии радона в образцах строительных материалов ТМ АЛЬФАПОЛ**

Определение численного значения коэффициента диффузии радона в образцах бетона нами определялось в соответствии со специально разработанной методикой, суть которой заключается в следующем:

3.1. На образцы бетона разных марок размером 300х300 мм приклеивалось по 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 образцов бетона. Учитывая, что толщина образцов бетона составляет около 20 мм, а диаметр измерительных камер не превышает 50 мм, при размерах образцов 300х300 мм это условие легко выполняется, если измерительные камеры располагать не ближе 50 мм от края образцов бетона (рис. 1).



Рис. 2. Размещение измерительных камер на поверхности образцов бетона

Контроль прохождения радона в измерительные камеры через слой герметика, которым они приклеивались к образцам бетона, проводился путем параллельного экспонирования в рабочей камере образца оргстекла размером 300х300 мм и толщиной 8 мм, на который приклеивались 5 измерительных камер с трековым детектором.

3.2. Подготовленные в соответствии с п. 3.1 образцы бетона помещаются в герметичную рабочую камеру объемом 0,754 м<sup>3</sup>, в которую после герметизации подается газообразный радон в количестве, достаточном для установления в ней объемной активности (ОА) радона на уровне 25-35 кБк/м<sup>3</sup>. Для непрерывного контроля содержания радона в воздухе рабочей камеры используется радон-монитор типа AlphaGUARD PQ 2000 PRO (рис. 2) с программным обеспечением AlphaExpert.

3.3. Можно показать, что процесс накопления радона в объеме измерительных камер описывается уравнением:

$$\frac{dC(\tau)}{d\tau} = \frac{D}{\Delta h \cdot h_K} [C_{RK}(\tau) - C(\tau)] - \lambda \cdot C(\tau), \quad (1)$$

в котором приняты обозначения:

$D$  – коэффициент диффузии радона в материале образца бетона, см<sup>2</sup>/с;

$C(\tau)$  – ОА радона (Бк/м<sup>3</sup>) в воздухе измерительной камеры в момент времени  $\tau$  (с);

$\lambda$  – постоянная распада радона, равная  $2,1 \cdot 10^{-6}$  с<sup>-1</sup>;

$\Delta h$  – толщина бетонных образцов, равная около 2,0 см;

$h_K$  – высота измерительной камеры с трековым детектором, равная 3,3 см;

$C_{RK}(\tau)$  – объемная активность радона в воздухе рабочей камеры в момент времени ( $\tau=0$ ), Бк/м<sup>3</sup>.

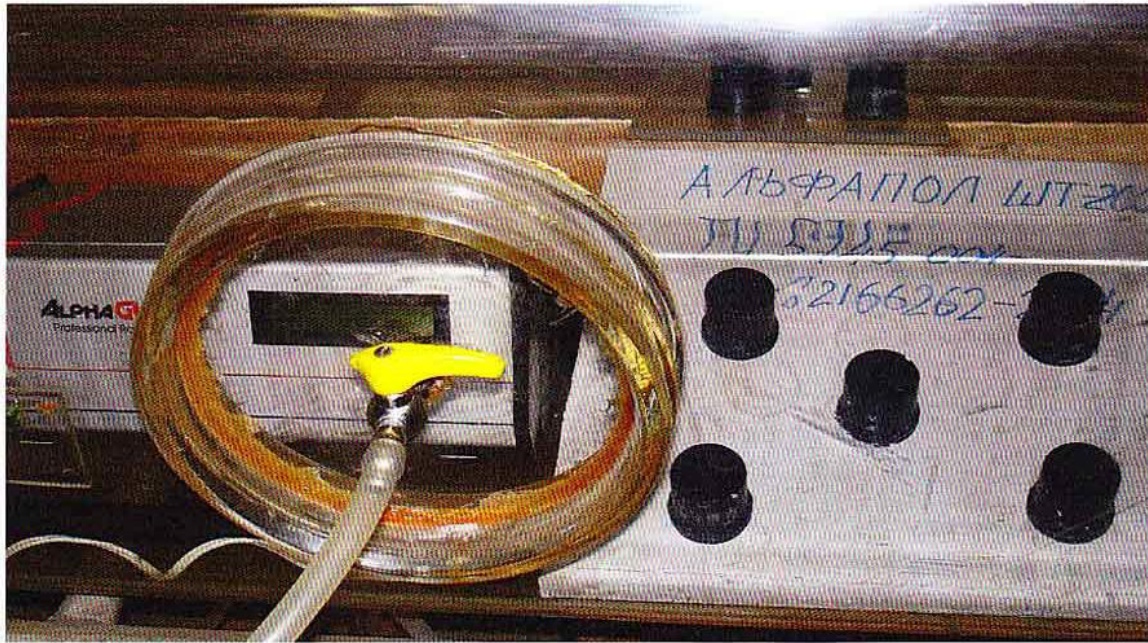


Рис. 1. Экспонирование образцов бетона в атмосфере герметичной рабочей камеры

Учитывая высокую степень герметичности рабочей камеры и незначительный объем экспериментальных образцов и измерительных камер (менее 0,001 м<sup>3</sup>), очевидно, что динамика изменения ОА радона в воздухе рабочей камеры  $C_{RK}(\tau)$  определяется практически только его распадом, так что описывается простым уравнением распада:

$$C_{RK}(\tau) = C_{RK}(\tau = 0) \cdot \exp(-\lambda \cdot \tau), \quad (2)$$

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

Введя обозначения:

$$\frac{D}{\Delta h \cdot h_K} \equiv a \text{ и } \frac{D}{\Delta h \cdot h_K} + \lambda \equiv b, \quad (3)$$

и, подставив (2) в уравнение (1), получим уравнение, которое описывает динамику накопления радона в воздухе измерительных камер:

$$\frac{dC(\tau)}{d\tau} = a \cdot C_{RK}(\tau = 0) \cdot \exp(-\lambda \cdot \tau) - b \cdot C(\tau). \quad (4)$$

Учитывая, что в начальный момент времени  $\tau=0$  ОА радона в объеме измерительной камеры равно 0, решение уравнения (4) можно представить в следующем виде:

$$C(\tau) = \frac{a \cdot C_{RK}(\tau = 0)}{\lambda - b} \cdot [\exp(-b \cdot \tau) - \exp(-\lambda \cdot \tau)]. \quad (5)$$

Далее учтем, что плотность треков на поверхности трекового детектора при интегральных измерениях ОА радона в воздухе прямо пропорциональна «среднему значению ОА радона в воздухе в период экспонирования». То есть, в трековой радиометрии радона непосредственно измеряемой величиной является «интегральная ОА радона

в воздухе»  $\bar{C}$ , которая определяется соотношением:

$$\bar{C} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T C(\tau) \cdot d\tau, \quad (6)$$

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

Подставляя (5) в (6) и беря определенный интеграл, получим:

$$\bar{C} = \frac{a \cdot C_{RK}(\tau = 0)}{T \cdot (\lambda - b)} \cdot \left[ \frac{\lambda - b}{\lambda \cdot b} + \frac{\exp(-\lambda \cdot T)}{\lambda} - \frac{\exp(-b \cdot T)}{b} \right]. \quad (7)$$

Из обозначений (3) следует, что  $b > \lambda$ , так что при времени экспонирования интегральных трековых детекторов в рабочей камере  $T > 1/\lambda$  экспоненты в (7) с большой точностью можно заменить приближенными выражениями:  $\exp(-x) \approx 1 - x + x^2/2$ .

С учетом этого, получим расчетное выражение для определения численного значения коэффициента диффузии радона в образцах бетона:

$$D = \frac{\bar{C}}{C_{RK}(\tau = 0)} \cdot \frac{2 \cdot h_K \cdot \Delta h}{T}, \text{ см}^2/\text{с}. \quad (8)$$

В формуле (8) все величины могут быть измерены непосредственно ( $h_K$  и  $\Delta h$ ), 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 нее величин.

Прежде чем перейти к обработке результатов экспериментальных исследований, приведем еще одно соотношение, которое полезно при решении практических задач по определению необходимой толщины мембраны с данным коэффициентом диффузии для снижения потока радона в нужное число раз. Это соотношение определяет т.н. длину диффузии радона в материале мембраны  $l$  и рассчитывается по формуле:

$$l = \sqrt{D/\lambda}, \text{ см}. \quad (9)$$

Размерность величины  $l$  – единицы длины (см), а ее физический смысл состоит в том, что она определяет толщину материала мембраны с данным значением коэффициента диффузии  $D$ , при прохождении через которую поток радона через мембрану снижается в 2 раза.

#### 4. Результаты экспериментальных исследований

4.1. Для экспериментальных исследований по определению коэффициента диффузии радона в бетонах разных марок были взяты 6 образцов, изготовленных как указано выше. 4 образца бетона вместе с образцом оргстекла экспонировались в рабочей камере по два цикла, два других образца бетона экспонировались в рабочей камере однократно.

4.2. Исходные данные и результаты расчета численных значений коэффициента диффузии радона в образцах бетона и длины диффузии радона в материале образцов приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Экспериментальные данные и результаты расчета диффузионных характеристик образцов бетона разных марок

№ цикла	Шифр образца	T, сутки (с)	$\bar{C}$ , Бк/м <sup>3</sup>	$C_{RK}(\tau=0)$ , Бк/м <sup>3</sup>	D, см <sup>2</sup> /с	l, см
1	К	12,8125 (1,107*10 <sup>6</sup> )	2840	32400	1,20*10 <sup>-6</sup>	0,756
2		11,9292 (1,031*10 <sup>6</sup> )	3160	21000	2,22*10 <sup>-6</sup>	1,028
1	КИ	12,8125 (1,107*10 <sup>6</sup> )	2490	32400	1,05*10 <sup>-6</sup>	0,707
2		11,9292 (1,031*10 <sup>6</sup> )	2660	21000	1,86*10 <sup>-6</sup>	0,941
1	КР	12,8125 (1,107*10 <sup>6</sup> )	1260	32400	5,34*10 <sup>-7</sup>	0,504
2		11,9292 (1,031*10 <sup>6</sup> )	1120	21000	7,85*10 <sup>-7</sup>	0,611
1	ШТ-200	12,8125 (1,107*10 <sup>6</sup> )	5990	32400	2,37*10 <sup>-6</sup>	1,063
2		11,9292 (1,031*10 <sup>6</sup> )	8100	21000	5,68*10 <sup>-6</sup>	1,645
1	Оргстекло	12,8125 (1,107*10 <sup>6</sup> )	45	32400	0,61*10 <sup>-8</sup>	0,054
2		11,9292 (1,031*10 <sup>6</sup> )	55	21000	1,34*10 <sup>-8</sup>	0,080

Из представленных в табл. 1 данных следует, что наилучшими радонозащитными характеристиками обладает бетон на основе сухих строительных смесей АЛЬФАПОЛ марки КР, в котором длина диффузии радона составляет около 0,55 см. Несколько больше длина диффузии радона в материалах марки К и КИ, составляющая около 1 см. Наибольшей длиной диффузии радона характеризуется материал марки ШТ-200 - около 1,5 см.

Таблица 2

Экспериментальные данные и результаты расчета диффузионных характеристик образцов бетона марок «ШТ-200» и «ШТ «Барит».

Шифр образца	T, сутки (с)	$\bar{C}$ , Бк/м <sup>3</sup>	$C_{RK}(\tau=0)$ , Бк/м <sup>3</sup>	D, см <sup>2</sup> /с	l, см
ШТ-200	9,8333 (8,460*10 <sup>5</sup> )	7300	15740	8,32*10 <sup>-6</sup>	1,990
ШТ «Барит»	9,8333 (8,460*10 <sup>5</sup> )	8890	15740	1,01*10 <sup>-5</sup>	2,193
Оргстекло	9,8333 (8,460*10 <sup>5</sup> )	75	15740	2,97*10 <sup>-8</sup>	0,120

Как следует из данных табл. 2, повторное определение коэффициента диффузии и длины диффузии в образце бетона марки «ШТ 200» показало достаточно близкий результат к данным табл. 1. При этом для бетона марки «ШТ «Барит» получено наибольшее значение как для коэффициента диффузии, так и для длины диффузии радона в материале – чуть более 2 см.

4.3. Полученные значения коэффициента диффузии для образца оргстекла на уровне приблизительно на 2 порядка ниже, чем для образцов бетона, свидетельствуют о незначительном вкладе диффузии радона в объем измерительных камер через слой

герметика, поэтому при расчете диффузионных характеристик образцов бетона вклад этого механизма затекания радона в камеры нами не учитывался.

## 5. Заключение

5.1. На основе специально разработанной методики выполнены экспериментальные исследования по оценке радонозащитных свойств образцов материалов на основе сухих строительных смесей АЛЬФАПОЛ производства ООО «АЛЬФАПОЛ» (Россия, Санкт-Петербург). В качестве радонозащитных характеристик образцов бетона рассматривались коэффициент диффузии  $D$  (см<sup>2</sup>/с) и длина диффузии  $l$  (см) радона в материале образцов. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 3, где в для сравнения также приведены данные о диффузионных характеристиках наиболее часто встречающихся сред.

Таблица 3

Численные значения коэффициента диффузии и длины диффузии радона в различных средах

Материал (среда)	Коэффициент диффузии радона $D$ , см <sup>2</sup> /с	Длина диффузии радона $l$ , см
Воздух *)	$10^{-1}$	218,21
Вода *)	$10^{-5}$	2,18
Бетоны тяжелые *)	$3,5 \cdot 10^{-4}$	12,91
Бетоны легкие *)	$1,4 \cdot 10^{-3}$	25,82
Кирпич *)	$4,7 \cdot 10^{-4}$	14,96
АЛЬФАПОЛ КР (напольное покрытие)	$6,6 \cdot 10^{-7}$	0,56
АЛЬФАПОЛ КИ (напольное покрытие)	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0,82
АЛЬФАПОЛ К (напольное покрытие)	$1,7 \cdot 10^{-6}$	0,89
АЛЬФАПОЛ ШТ-200 (штукатурка)	$5,5 \cdot 10^{-6}$	1,57
АЛЬФАПОЛ ШТ-БАРИТ (штукатурка)	$1,0 \cdot 10^{-5}$	2,19

\*) Значения приведены по данным: Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М., Энергоатомиздат, 1989, 120 с.

5.2. Радонозащитные характеристики бетонов на основе сухих строительных смесей АЛЬФАПОЛ производства ООО «АЛЬФАПОЛ» (Россия, Санкт-Петербург) приблизительно на порядок выше, чем эти же показатели для традиционных строительных материалов – кирпича и тяжелых бетонов.

5.3. Среди исследованных образцов материалов на основе сухих строительных смесей ТМ АЛЬФАПОЛ производства ООО «АЛЬФАПОЛ» (Россия, Санкт-Петербург) наилучшими радонозащитными характеристиками обладают материалы марок КР, КИ и К, в которых длина диффузии радона не превышает 1 см. Для двух других материалов – штукатурок марок ШТ-200 и ШТ- БАРИТ, длина диффузии радона несколько выше и составляет 1,5-2,2 см.

5.4. Исходя из сказанного считаем, что напольные покрытия, изготовленные из сухих строительных смесей ТМ АЛЬФАПОЛ марок КР, КИ и К производства ООО «АЛЬФАПОЛ» (Россия, Санкт-Петербург) могут быть рекомендованы для применения в качестве эффективных защитных покрытий для снижения поступления радона в воздух помещений из подпольного пространства под зданиями любого назначения. Для снижения притока радона в воздух помещений из объема ограждающих конструкций (стены, потолки) зданий в качестве эффективных защитных покрытий могут применяться штукатурные смеси марки ШТ-200 и ШТ- БАРИТ.

До начала применения указанных материалов в качестве радонозащитных покрытий считаем целесообразным, провести экспериментальные исследования в натуральных условиях на примере здания небольшой площади, а также провести испытания радонозащитных характеристик материалов в процессе их старения.

Младший научный сотрудник  
лаборатории дозиметрии природных  
источников ФГУН НИИРГ

**А.В. Световидов**

Старший научный сотрудник  
ФГУН НИИРГ, к.б.н.

**Т.А. Кормановская**

Заведующий лабораторией дозиметрии  
природных источников ФГУН НИИРГ, к.т.н.

**И.П. Стамат**