



федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук»
(НИИСФ РААСН)

Research Institute of Building Physics
Russian Academy of Architecture and Construction Science (NIISF RAACS)



УТВЕРЖДАЮ

Директор НИИСФ РААСН

Шубин И.Л.

« 24 » мая 2013 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ РАБОТЕ
по теме:

**« Исследование радонопроницаемости ПВХ мембраны
«ПЛАСТФОИЛ U »**

Договор № 15040(2013) от 15.03.2013 г.

Руководитель работы,
д. т. н, проф.

Гулабянц Л.А.

Москва 2013 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работы:

д.т.н, проф.

Гулабянц Л.А.

Исполнители:

к.т.н, ст. научн. сотр.

Цапалов А.А.

вед. инженер

Семенова М.Н.

аспирант

Чернобровкин П. В.

Введение

Актуальность работы - Согласно требованиям Норм радиационной безопасности [1] концентрация радона и его дочерних продуктов во внутреннем воздухе помещений жилых и общественных зданий не должна превышать установленного предела.

Проникновение в помещения радона, образующегося в грунтовом основании здания, как правило, является основной причиной его сверхнормативной концентрации.

Технические мероприятия, направленные на снижение этой концентрации, реализуются строительными средствами и заключаются преимущественно в снижении радонопроницаемости подземных ограждающих конструкций [2-3]. Практически всегда такие конструкции включают в себя элементы из монолитного или сборного железобетона. Поскольку радонопроницаемость таких элементов может быть достаточно высокой, для повышения сопротивления радонопроницанию конструкций в их составе используют мембраны. Мембрана представляет собой сплошной тонкий слой малопроницаемого для радона рулонного или листового материала. Мембрану располагают выше или ниже несущего элемента ограждающей конструкции, что позволяет защитить здание от проникновения в него грунтового радона через поры, трещины и стыки в несущих элементах конструкции.

Одними из основных требований к радонозащитным мембранам являются:

- низкий коэффициент диффузии радона в материале мембраны,
- возможность обеспечения ее сплошности в пределах площади здания,
- возможность ее упруго-пластической деформации без разрушения при подвижках несущей конструкции и смещении элементов конструкции относительно друг друга в процессе эксплуатации здания.

Цель работы заключалась в определении радонозащитной способности мембраны «ПЛАСТФОИЛ U» в составе ограждающей конструкции подземной части здания.

Задачами работы являлось:

1. Экспериментальное определение коэффициента диффузии радона в материале мембраны.
2. Испытание сварного шва между полосами мембраны на их радононепроницаемость.
3. Определение сопротивления радонопроницанию мембраны и сопротивления сочетания слоя бетона с мембраной.
4. Составление заключения об эффективности использования исследуемого материала в целях противорадоновой защиты зданий.

1. Основные понятия

1.1. Коэффициент диффузии радона и сопротивление радонопроницанию

В настоящее время величину коэффициента диффузии радона в материале во многих странах (Германии, Чехии, Испании, Ирландии, Голландии и др.) рассматривают как наиболее представительный параметр, характеризующий радонозащитную способность материала [2]. Известны два подхода к использованию этого параметра в технических и нормативных документах:

1. коэффициент диффузии радона в слое противорадоновой защиты должен быть ниже определенной нормированной величины;
2. толщина слоя противорадоновой защиты должна быть не менее чем в три раза больше, чем длина диффузии радона в материале слоя.

В обоих случаях принимаются во внимание защитные свойства только одного слоя материала, в то время как в реальных условиях этот слой работает совместно с другими слоями ограждающей конструкции. Кроме того, и главное, плотность потока поступающего в помещение радона - основная величина, определяющая концентрацию радона в помещении, остается не определенной.

В принятом в России подходе (близком к принятому в Швеции [6]) исходят из того, что плотность потока радона, проникающего через ограждающую конструкцию в здание, не должна превышать величины, при которой концентрация радона в помещении не превышает заданного при проектировании уровня. При этом, требуемые параметры подземной ограждающей конструкции рассчитываются с учетом основных, определяющих радоновый режим здания факторов: коэффициента диффузии радона в материалах конструкции, концентрации радона в грунтовом основании здания, интенсивности вентиляции помещений и их геометрических параметров.

Коэффициент диффузии (D , $\text{м}^2/\text{с}$) выражает активность радона (Бк), проходящего через 1 м^2 слоя материала толщиной 1 м в 1 секунду при разности концентраций радона на границах слоя равной $1 \text{ Бк}/\text{м}^3$

Коэффициент радонопроницания (K , $\text{м}/\text{с}$) выражает плотность потока радона ($\text{Бк}/\text{м}^2 \text{ с}$), проникающего в 1 секунду через 1 м^2 конструкции состоящей из одного или нескольких слоев материалов, при разности объемных активностей радона на внешних границах конструкции равной $1 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Размерность этого коэффициента:

$$\frac{\text{Бк}}{\text{м}^2 \text{ с}} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{Бк}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Сопrotивление радонопроницанию ($R, c/m$) характеризует радонозащитную способность ограждающей конструкции ($R = I / K$) и представляет разность объемных активностей радона на границах конструкции ($\text{Бк}/\text{м}^3$), при которой через конструкцию в 1 секунду проникает поток радона плотностью $1 \text{ Бк}/(\text{м}^2 \text{ с})$. Сопrotивление радонопроницанию однослойной конструкции вычисляется по формуле [3]

$$R = \frac{L \cdot sh\left(\frac{h}{L}\right)}{D}, \quad (1)$$

где D - объемный коэффициент диффузии радона в материале слоя, $\text{м}^2/\text{с}$;

h - толщина слоя, м;

$L = \sqrt{D/\lambda}$ - длина диффузии радона в материале слоя (расстояние, на котором проходящий через слой поток радона ослабляется в 2,7 раза), м.

В Швеции при проведении стандартных испытаний материалов используют понятие о **радонопроницаемости слоя материала** ($k = h/R = h \cdot K, \text{м}^2/\text{с}$) [6].

Для конструкции, состоящей из двух и более слоев, формулы вида (1) становятся весьма громоздкими. Радонозащитные свойства большинства обычно используемых конструкций определяются свойствами одного или двух основных, наименее газопроницаемых слоев - бетона и гидро-газоизолирующего слоя. Поэтому присутствием в конструкции таких вспомогательных слоев как песчаная и гравийная подсыпка, выравнивающая и защитная стяжки и т.п., в силу их небольшой толщины и высокой газопроницаемости обычно пренебрегают. Суммарное сопротивление радонопроницанию двух-трехслойной конструкции с разнородными слоями приближенно (с незначительным занижением определяемой величины) вычисляют по формуле:

$$R = R_i + R_{i+1} + \dots R_n, \quad (2)$$

где R_i - сопротивление радонопроницанию i -го слоя, определяемое по формуле (1)

$i = 1, 2, \dots n$ - порядковый номер слоя.

2. Метод определения

Использованный в данной работе метод определения коэффициента диффузии радона в плоском слое материала основан на измерении изменения во времени концентрации радона $C_1(\tau)$ в измерительной (одновременно экспозиционной) камере 1, к которой герметично присоединена проба тестируемого материала 2 (рис. 1) [4].

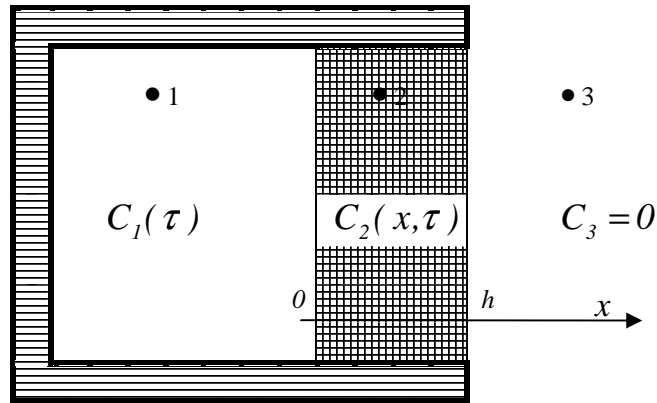


Рис. 1. Схема измерения. 1- Измерительная камера, 2- проба материала, 3- окружающее пространство.

Процесс диффузионного переноса радона через испытываемую пробу материала описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial C_1(\tau)}{\partial \tau} = -\lambda C_1(\tau) - \frac{S}{V} \alpha_1 [C_1(\tau) - C_2(0, \tau)], \quad (3)$$

$$\frac{\partial C_2(x, \tau)}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C_2(x, \tau)}{\partial x^2} - \lambda C_2(x, \tau), \quad (4)$$

$$C_1(0) = C_0, \quad (5)$$

$$C_2(x, 0) = 0, \quad (6)$$

$$-D \frac{\partial C_2(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_1 [C_1(\tau) - C_2(0, \tau)], \quad (7)$$

$$-D \frac{\partial C_2(h, \tau)}{\partial x} = \alpha_2 [C_2(h, \tau) - C_3], \quad (8)$$

где: τ - время, с;

$C_1(\tau)$, $C_2(x, \tau)$ и C_3 - концентрация радона в камере 1, пробе 2 и окружающем воздухе 3, соответственно, Бк/м³;

C_0 - концентрация радона в камере 1 в момент времени $\tau = 0$, с;

V - объем камеры, м³; h - толщина пробы, м; S , - площадь пробы, м²;

λ - постоянная распада радона, с⁻¹;

α_1, α_2 - коэффициенты, учитывающие условия газообмена в пограничном слое у левой ($x = 0$) и правой ($x = h$) поверхностях пробы, соответственно, м / с.

Решение уравнений (3)–(8) относительно величины $C_1(\tau)$ для $0 \leq \tau < \infty$, имеющее вид

$$C_1(\tau) = C_0 \left[\int_0^{\tau} e^{\lambda(t-\tau)} F(t) dt + e^{-\lambda\tau} \right], \quad (9)$$

реализуется с помощью компьютерной математической программы «MAPLE».

До начала эксперимента концентрации радона в камере и в окружающем воздухе равны. В начале эксперимента порция воздуха объемом 2-3 см³ с концентрацией радона порядка 10⁶ Бк/м³ в течение 2-3 секунд вводится в камеру 1 через специальный клапан. Таким образом, внутри камеры в начальный момент времени ($\tau = 0$) создается концентрация радона $C_1(\tau = 0) = C_0$. В процессе эксперимента эта концентрация убывает вследствие распада радона и его диффузии через пробу. Значения объемной активности радона в камере $C_1(\tau)_{\text{эксн}}$ измеряются с определенным шагом по времени.

Изменение концентрации радона в камере при заданном значении коэффициента диффузии $C_1(\tau)_{\text{расч}}$ рассчитывается на основании (7). Искомая величина коэффициента диффузии радона в испытываемой пробе определяется с помощью метода наименьших квадратов, примененного к функции $C_1(\tau)_{\text{эксн}}$ при известном виде функции $C_1(\tau)_{\text{расч}}$.

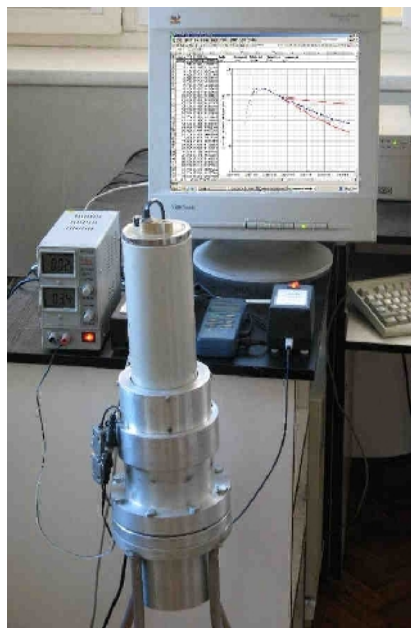


Рис. 2.

Общий вид экспериментальной установки показан на рис. 2 [5].

3. Сведения о материале

Исследовались три пробы-близнеца ПВХ мембраны «ПЛАСТФОИЛ U» производства ООО «ПО «ПВХ» (190020, г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, наб. ОБВОДНОГО КАНАЛА, д. 193. Телефон: +7 (812) 310-55-61).

По данным производителя:

ПЛАСТФОИЛ U – неармированная, полимерная, гидроизоляционная мембрана на основе пластифицированного поливинилхлорида (П-ПВХ), с сигнальным слоем ярко-желтого цвета, по ТУ 5774-004-80678383-2008.

Поставляется в рулонах шириной 500/1000/2000 мм, длиной 15/20/25/30 м.

Толщина мембраны 1,2/1,5/1,8/2,0 мм.

Масса материала (2 мм) – 2,4 кг/м²;

Соединение полос – внахлест, сварное.

Общий вид проб материала, зафиксированных во входящих в комплект экспериментальной установки держателях, приведен на рис. 3.



Рис. 3. Общий вид проб материала

Для герметичного крепления проб в держателях использован эпоксидный клей марки ЭДП. В течение эксперимента максимальное изменение температуры воздуха в помещении не превышало 3 °С, изменение атмосферного давления не превышало 1000 Па.

4. Результаты испытаний

Результаты определения коэффициента диффузии радона в пробах мембраны и швом приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Номер пробы	Коэффициент диффузии радона (D), м ² /с	
	пробы	материала
1	$(5,3 \pm 1,1) * 10^{-11}$	Не более $6,0 * 10^{-11}$
2	$(5,0 \pm 1,0) * 10^{-11}$	
3 (сварной шов)	$(3,9 \pm 0,8) * 10^{-11}$	
4 (сварной шов)	$(5,2 \pm 1,1) * 10^{-11}$	

Акт испытаний материала приводится в приложении 1.

Протоколы измерений приводятся на 12 стр. в приложениях А, В, С, Д к Акту испытаний.

Данные для сравнения показателей радонопроницаемости слоя тяжелого бетона толщ. 100 мм и его сочетания с мембраной приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Слои	Коэффициент диффузии радона, D м ² /с	Коэффициент радонопроницания K, м/с	Сопротивление радонопроницанию R, с/м
Бетон (100 мм)	$1,1 * 10^{-7}$	$1,1 * 10^{-6}$	$9,4 * 10^5$
Бетон (100 мм) + Мембрана (2 мм) «ПЛАСТФОИЛ U »	$1,1 * 10^{-7}$ + $6,0 * 10^{-11}$	$2,6 * 10^{-8}$	$3,84 * 10^7$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Радонопроницаемость сварного шва между полосами мембраны не превышает радонопроницаемости материала мембраны.

2. Сопротивление радонопроницанию 100 мм бетонной плиты в сочетании с 2 мм мембраной (с учетом сварных швов между полосами материала) более чем в 40 раз превышает сопротивления плиты без мембраны.

3. В качестве расчетного значения коэффициента диффузии радона в мембране рекомендуется принимать величину $6,0 * 10^{-11}$ м²/с.

4. Мембрана «ПЛАСТФОИЛ U » по показателю сопротивления радонопроницанию рекомендуется для применения в целях противорадоновой защиты зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы радиационной безопасности НРБ - 99 / 2009. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2009. 100 с.
2. M. Jiranek a.o. «Radon diffusion coefficient – a material property determining the applicability of waterproof membranes as radon barriers». Proceedings of the American Association of Radon Scientists and Technologists 2008 International Symposium Las Vegas NV, September 14-17, 2008. .
3. Гулябянц Л.А. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий. // Жилищное строительство. 2012. № 2. С. 28-31; № 3. С. 27-31; № 5. С. 28-32 ; № 6 . С. 82-85.
4. Гулябянц Л.А., Лившиц М.И., Цапалов А.А.. Теоретическая основа нестационарного метода измерения коэффициента диффузии радона в пористой среде. Научно-информационный журнал по радиационной безопасности «АНРИ», № 2 (45), 2006.
5. Гулябянц Л.А., Цапалов А.А.. Экспериментальное устройство для измерения коэффициента диффузии радона в материалах. Научно-информационный журнал по радиационной безопасности «АНРИ», № 4 (47), 2006.
6. H. Karlson. Test of Radon Transmission. SP Technical Research Institute of Sweden. Report PX25828, 2012-08-27.

Лаборатория радиационной безопасности в строительстве.
(495) 482 39 65, e-mail: lor267gg@yandex.ru

УТВЕРЖДАЮ
Директор НИИСФ РААСН

_____ Шубин И.Л.

« 24 » мая 2013 г.

АКТ N 02/15040 от 20.05.2013 г.
Определение коэффициента диффузии радона в материале

1. НИИСФ РААСН, лаборатория № 15.

Свидетельство о членстве в саморегулируемой организации некоммерческого партнерства «Объединение организаций в сфере проектирования «Академический Проектный Центр (АПЦ) № СРО-7701054960-7713018998-2-2009.

Регистрационный номер в реестре членов НП «ФПЦ» - № 0009.

Свидетельство о допуске к работам по подготовке проектной документации, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства № П-119-18012010-7713018998-0009-2.

2. Дата проведения измерений: 12 – 14.03. 2013 г.

3. Сведения о материале :

Наименование материала – «ПЛАСТФОИЛ U» по ТУ 5774-004-80678383-2008.

Неармированная, полимерная, гидроизоляционная мембрана на основе пластифицированного поливинилхлорида (П-ПВХ), с сигнальным слоем ярко-желтого цвета.

Производитель - ООО «ПО «ПВХ» (190020, г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, наб. ОБВОДНОГО КАНАЛА, д. 193. Телефон: +7 (812) 310-55-61) .

Толщина образца материала - 2 мм.

Ширина сварного шва 30-36 мм., толщина 4 мм.

Масса материала образца – 2,4 кг/м².

4. Аппаратура - экспериментальные установки (КДМ.1-07 и КДМ.2-07) для определения коэффициента диффузии радона в строительных материалах и грунтах **5. Метод определения** – согласно Стандарту НИИСФ РААСН: « Лабораторный нестационарный метод определения коэффициента диффузии радона в материалах ограждающих конструкций зданий и грунтах ». 2008 г.

6. Результаты испытаний

Номер пробы	Коэффициент диффузии радона (D), м ² /с	
	пробы	материала
1	$(5,3 \pm 1,1) * 10^{-11}$	Не более $6,0 * 10^{-11}$
2	$(5,0 \pm 1,0) * 10^{-11}$	
3 (сварной шов)	$(3,9 \pm 0,8) * 10^{-11}$	
4 (сварной шов)	$(5,2 \pm 1,1) * 10^{-11}$	

Примечание: Протоколы измерений приводятся на 12 стр. в приложениях А, В, С, D к Акту испытаний.

Зав. лабораторией радиационной безопасности в строительстве
д. т. н, проф.



Гулабянц Л.А

НИИСФ РААСН

Лаборатория «Радиационной Безопасности в Строительстве»

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 01/15040 от 15.05.2013 г.

Образец – Гидроизоляционная ПВХ-мембрана “ПЛАСТФОИЛ U”

Проба № 1.

1. Геометрия измерений

Толщина пробы, мм	Диаметр пробы, мм	Объем измерительной камеры, м ³
2,00	117	0,00027

2. Обозначения

$[0, \tau_1]$ - интервал времени, в течение которого в рабочей камере устанавливается радиоактивное равновесие между радоном и его дочерними продуктами распада;

$C(\tau)$ - объемная активность радона в камере, Бк/м³;

Индексы:

ε – экспериментальные данные,

p – расчетные данные .

3. Экспериментальные и расчетные данные

Номер периода измерения	Время, ч ($\tau \geq \tau_1$)	Темпы снижения объемной активности радона в камере		Отклонение экспериментальных значений темпа от расчетных, %
		$T^p = \frac{C^p(\tau)}{C^p(\tau_1)}$	$T^\varepsilon = \frac{C^\varepsilon(\tau)}{C^\varepsilon(\tau_1)}$	
1	2	3	4	5

1	6.628	1.0000	1.0000	0.00
2	6.804	0.9980	0.9971	-0.09
3	6.979	0.9959	0.9968	0.08
4	7.154	0.9939	0.9932	-0.07
5	7.330	0.9919	0.9894	-0.25
6	7.505	0.9899	0.9893	-0.06
7	7.681	0.9879	0.9842	-0.38
8	7.856	0.9860	0.9874	0.15
9	8.031	0.9840	0.9839	-0.01
10	8.207	0.9820	0.9821	0.01
11	8.383	0.9800	0.9764	-0.37
12	8.559	0.9781	0.9767	-0.14
13	8.735	0.9761	0.9783	0.23
14	8.910	0.9742	0.9717	-0.26

15	9.086	0.9722	0.9721	-0.02
16	9.261	0.9703	0.9726	0.24
17	9.436	0.9684	0.9667	-0.17
18	9.613	0.9664	0.9640	-0.25
19	9.787	0.9645	0.9630	-0.15
20	9.963	0.9626	0.9618	-0.08
21	10.139	0.9607	0.9591	-0.16
22	10.314	0.9588	0.9590	0.02
23	10.490	0.9569	0.9608	0.41
24	10.666	0.9550	0.9595	0.48
25	10.841	0.9531	0.9554	0.25
26	11.017	0.9512	0.9489	-0.24
27	11.192	0.9493	0.9479	-0.14
28	11.369	0.9474	0.9498	0.25
29	11.545	0.9455	0.9474	0.20
30	11.721	0.9436	0.9451	0.16
31	11.897	0.9417	0.9428	0.11
32	12.074	0.9399	0.9380	-0.20
33	12.249	0.9380	0.9380	0.00
34	12.425	0.9362	0.9361	0.00
35	12.602	0.9343	0.9341	-0.03
36	12.777	0.9324	0.9340	0.16
37	12.954	0.9306	0.9346	0.44
38	13.129	0.9287	0.9274	-0.14
39	13.306	0.9269	0.9274	0.05
40	13.482	0.9251	0.9237	-0.15
41	13.658	0.9232	0.9201	-0.34
42	13.835	0.9214	0.9237	0.25
43	14.012	0.9195	0.9238	0.46
44	14.189	0.9177	0.9161	-0.18
45	14.364	0.9159	0.9146	-0.14
46	14.533	0.9142	0.9133	-0.10
47	14.701	0.9124	0.9126	0.02
48	14.869	0.9107	0.9149	0.46
49	15.037	0.9090	0.9068	-0.24
50	15.204	0.9073	0.9038	-0.38
51	15.372	0.9055	0.9049	-0.08
52	15.540	0.9038	0.9047	0.10
53	15.708	0.9021	0.9014	-0.09
54	15.875	0.9004	0.9029	0.28
55	16.043	0.8987	0.8994	0.07
56	16.211	0.8970	0.8954	-0.19
57	16.379	0.8953	0.8925	-0.32
58	16.547	0.8936	0.8933	-0.03
59	16.715	0.8919	0.8901	-0.21
60	16.883	0.8903	0.8932	0.33

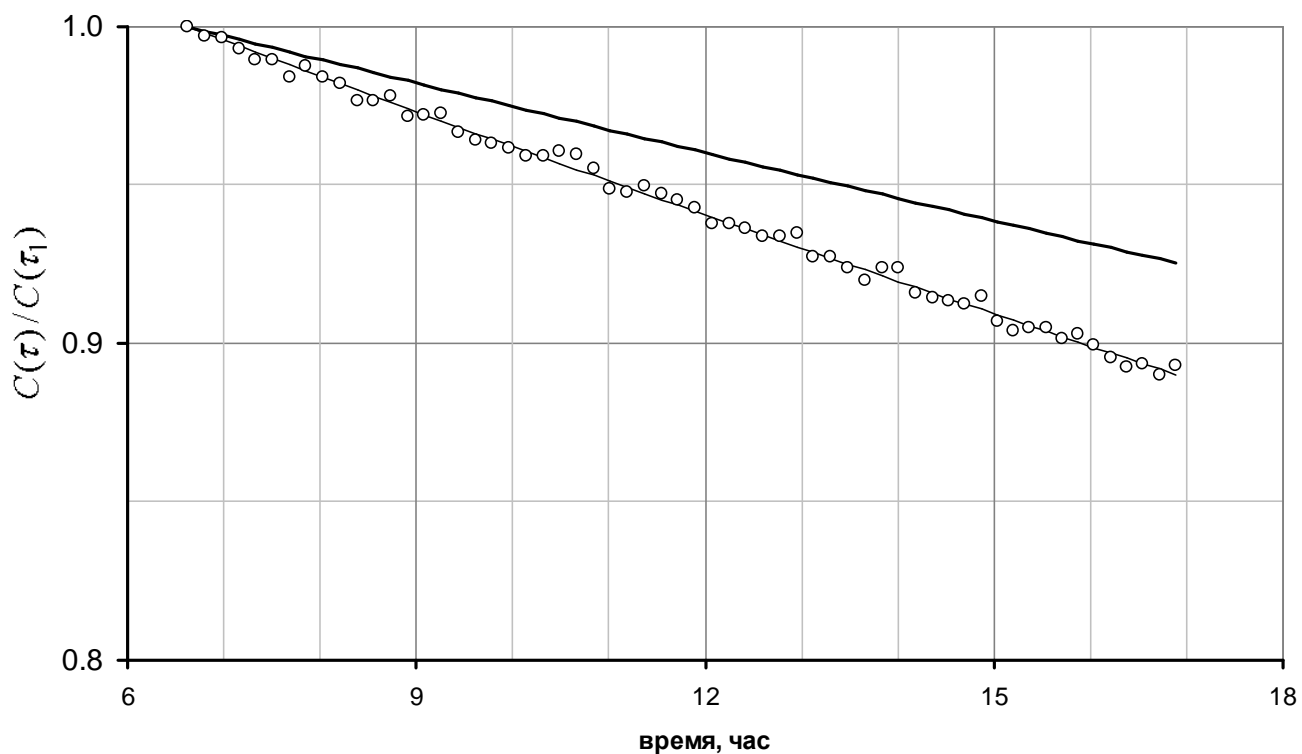


Рис. 1. Зависимости экспериментально определенного и расчетного темпов снижения объемной активности радона в камере от времени.

точки – экспериментальные данные;

тонкая сплошная линия – расчетные данные;

толстая сплошная линия – темп снижения объемной активности радона в загерметизированной камере (кривая распада).

4. Результат испытаний

Коэффициент диффузии радона в пробе материала составляет:

$$D = (5,3 \pm 1,1) * 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Отв. исполнитель

с.н.с., к.т.н.

А. А. Цапалов

НИИСФ РААСН

Лаборатория «Радиационной Безопасности в Строительстве»

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 02/15040 от 15.05.2013 г.

Образец – Гидроизоляционная ПВХ-мембрана “ПЛАСТФОИЛ U”

Проба № 2.

1. Геометрия измерений

Толщина пробы, мм	Диаметр пробы, мм	Объем измерительной камеры, м ³
2,00	117	0,00026

2. Обозначения

$[0, \tau_1]$ - интервал времени, в течение которого в рабочей камере устанавливается радиоактивное равновесие между радоном и его дочерними продуктами распада;

$C(\tau)$ - объемная активность радона в камере, Бк/м³;

Индексы:

ε – экспериментальные данные,

p – расчетные данные .

3. Экспериментальные и расчетные данные

Номер периода измерения	Время, ч ($\tau \geq \tau_1$)	Темпы снижения объемной активности радона в камере		Отклонение экспериментальных значений темпа от расчетных, %
		$T^p = \frac{C^p(\tau)}{C^p(\tau_1)}$	$T^\varepsilon = \frac{C^\varepsilon(\tau)}{C^\varepsilon(\tau_1)}$	
1	2	3	4	5
1	6.382	1.0000	1.0000	0.00
2	6.549	0.9981	0.9968	-0.13
3	6.717	0.9961	0.9953	-0.08
4	6.885	0.9942	0.9921	-0.21
5	7.053	0.9923	0.9944	0.22
6	7.221	0.9903	0.9885	-0.19
7	7.389	0.9884	0.9808	-0.78
8	7.556	0.9865	0.9822	-0.43
9	7.724	0.9846	0.9855	0.09
10	7.892	0.9827	0.9776	-0.53
11	8.060	0.9808	0.9762	-0.47
12	8.228	0.9790	0.9808	0.19
13	8.396	0.9771	0.9730	-0.42

14	8.563	0.9752	0.9686	0.984
15	8.731	0.9734	0.9687	-0.48
16	8.899	0.9715	0.9706	-0.09
17	9.067	0.9697	0.9666	-0.31
18	9.235	0.9678	0.9627	-0.53
19	9.403	0.9660	0.9635	-0.25
20	9.570	0.9642	0.9583	-0.61
21	9.738	0.9623	0.9590	-0.35
22	9.906	0.9605	0.9527	-0.81
23	10.073	0.9587	0.9554	-0.34
24	10.241	0.9569	0.9555	-0.14
25	10.409	0.9551	0.9530	-0.21
26	10.577	0.9532	0.9527	-0.06
27	10.745	0.9514	0.9514	-0.01
28	10.912	0.9496	0.9529	0.34
29	11.080	0.9478	0.9449	-0.31
30	11.248	0.9461	0.9440	-0.22
31	11.416	0.9443	0.9329	-1.21
32	11.583	0.9425	0.9436	0.12
33	11.751	0.9407	0.9296	-1.18
34	11.919	0.9389	0.9347	-0.45
35	12.087	0.9372	0.9368	-0.04
36	12.254	0.9354	0.9343	-0.12
37	12.421	0.9336	0.9274	-0.67
38	12.589	0.9319	0.9318	-0.01
39	12.757	0.9301	0.9243	-0.63
40	12.925	0.9284	0.9300	0.17
41	13.092	0.9266	0.9240	-0.28
42	13.260	0.9249	0.9294	0.49
43	13.428	0.9231	0.9207	-0.26
44	13.596	0.9214	0.9277	0.69
45	13.764	0.9197	0.9196	-0.01
46	13.932	0.9179	0.9190	0.12
47	14.099	0.9162	0.9171	0.10
48	14.267	0.9145	0.9160	0.16
49	14.435	0.9127	0.9169	0.45
50	14.603	0.9110	0.9087	-0.25
51	14.771	0.9093	0.9082	-0.12
52	14.940	0.9076	0.9080	0.05
53	15.108	0.9059	0.9092	0.37
54	15.276	0.9042	0.9081	0.44
55	15.444	0.9025	0.9064	0.44
56	15.613	0.9008	0.9019	0.13
57	15.781	0.8991	0.9015	0.27
58	15.949	0.8974	0.9037	0.71
59	16.118	0.8957	0.9027	0.78
60	16.286	0.8940	0.8992	0.58

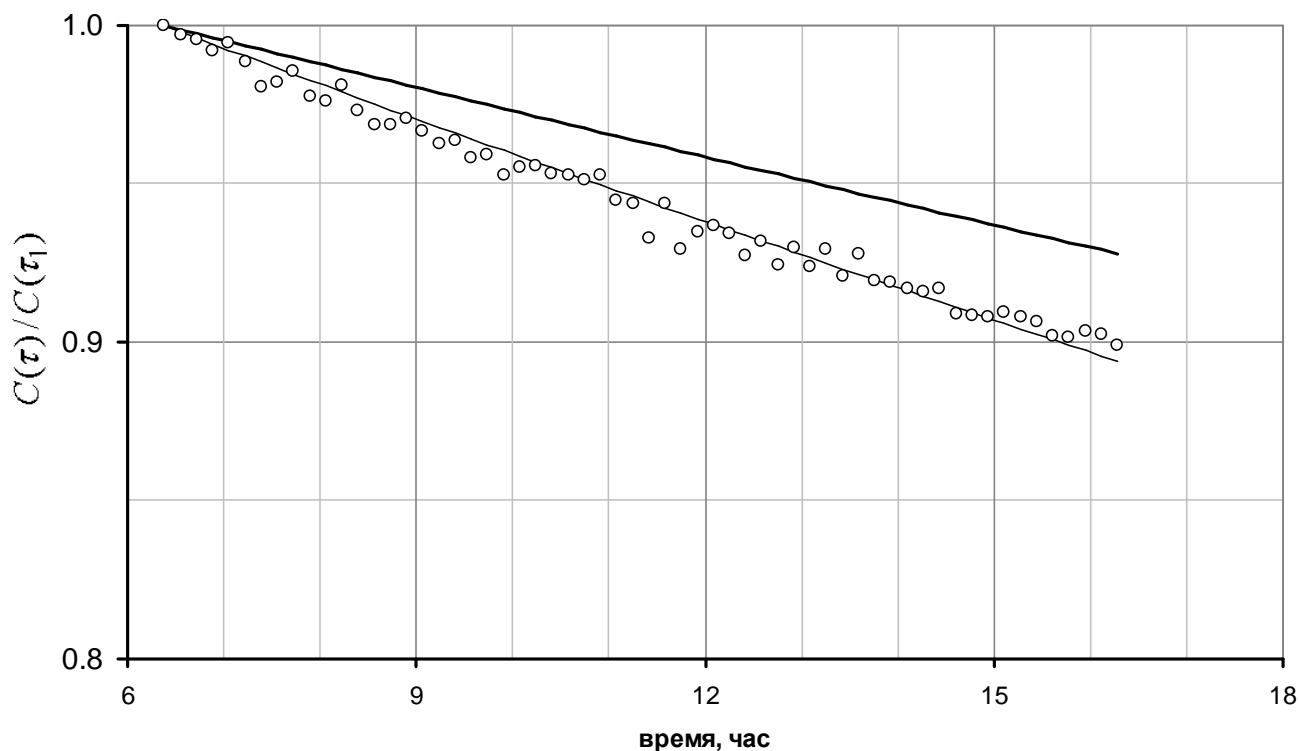


Рис. 1. Зависимости экспериментально определенного и расчетного темпов снижения объемной активности радона в камере от времени.

точки – экспериментальные данные;

тонкая сплошная линия – расчетные данные;

толстая сплошная линия – темп снижения объемной активности радона в загерметизированной камере (кривая распада).

4. Результат испытаний

Коэффициент диффузии радона в пробе материала составляет:

$$D = (5,0 \pm 1,0) * 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Отв. исполнитель

с.н.с., к.т.н.

А. А. Цапалов

НИИСФ РААСН

Лаборатория «Радиационной Безопасности в Строительстве»

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 03/15040 от 18.05.2013 г.

Образец – Участок сварного шва (внахлест) гидроизоляционной ПВХ-мембраны «ПЛАСТФОИЛ U».

Проба № 3.

1. Геометрия измерений

Толщина пробы, мм	Диаметр пробы, мм	Объем измерительной камеры, м ³
2,00 *	117	0,00027

* толщина склейки 4,00 мм, ширина – 30 мм

2. Обозначения

$[0, \tau_1]$ - интервал времени, в течение которого в рабочей камере устанавливается радиоактивное равновесие между радоном и его дочерними продуктами распада;

$C(\tau)$ - объемная активность радона в камере, Бк/м³;

Индексы:

ε – экспериментальные данные,

p – расчетные данные .

3. Экспериментальные и расчетные данные

Номер периода измерения	Время, ч ($\tau \geq \tau_1$)	Темпы снижения объемной активности радона в камере		Отклонение экспериментальных значений темпа от расчетных, %
		$T^p = \frac{C^p(\tau)}{C^p(\tau_1)}$	$T^\varepsilon = \frac{C^\varepsilon(\tau)}{C^\varepsilon(\tau_1)}$	
1	2	3	4	5
1	6.392	1.0000	1.0000	0.00
2	6.561	0.9982	1.0007	0.25
3	6.729	0.9964	0.9985	0.22
4	6.897	0.9946	0.9957	0.11
5	7.064	0.9928	0.9929	0.01
6	7.233	0.9910	0.9921	0.11
7	7.401	0.9892	0.9915	0.23
8	7.569	0.9874	0.9886	0.12
9	7.737	0.9856	0.9862	0.05
10	7.905	0.9839	0.9815	-0.25
11	8.073	0.9821	0.9828	0.07

12	8.241	0.9804	0.9847	0.44
13	8.409	0.9786	0.9802	0.16
14	8.577	0.9769	0.9750	-0.20
15	8.746	0.9752	0.9757	0.05
16	8.914	0.9735	0.9712	-0.23
17	9.082	0.9717	0.9733	0.16
18	9.250	0.9700	0.9728	0.29
19	9.418	0.9683	0.9675	-0.09
20	9.586	0.9666	0.9653	-0.14
21	9.754	0.9649	0.9672	0.24
22	9.923	0.9632	0.9585	-0.49
23	10.091	0.9615	0.9589	-0.28
24	10.259	0.9599	0.9613	0.15
25	10.427	0.9582	0.9557	-0.26
26	10.595	0.9565	0.9556	-0.09
27	10.763	0.9548	0.9563	0.16
28	10.931	0.9532	0.9535	0.04
29	11.099	0.9515	0.9528	0.14
30	11.268	0.9498	0.9499	0.00
31	11.436	0.9482	0.9513	0.33
32	11.604	0.9465	0.9449	-0.17
33	11.772	0.9449	0.9476	0.29
34	11.940	0.9433	0.9439	0.07
35	12.108	0.9416	0.9440	0.25
36	12.276	0.9400	0.9407	0.08
37	12.444	0.9383	0.9369	-0.16
38	12.613	0.9367	0.9384	0.18
39	12.780	0.9351	0.9364	0.14
40	12.948	0.9335	0.9345	0.11
41	13.116	0.9319	0.9316	-0.02
42	13.284	0.9302	0.9323	0.22
43	13.452	0.9286	0.9321	0.37
44	13.619	0.9270	0.9262	-0.09
45	13.787	0.9254	0.9240	-0.16
46	13.955	0.9238	0.9263	0.26
47	14.123	0.9222	0.9203	-0.21
48	14.291	0.9206	0.9228	0.23
49	14.459	0.9191	0.9162	-0.31
50	14.626	0.9175	0.9167	-0.08
51	14.794	0.9159	0.9144	-0.16
52	14.962	0.9143	0.9122	-0.23
53	15.130	0.9127	0.9131	0.04
54	15.297	0.9112	0.9093	-0.21
55	15.466	0.9096	0.9066	-0.32
56	15.634	0.9080	0.9073	-0.08
57	15.801	0.9065	0.9056	-0.10
58	15.969	0.9049	0.9056	0.08
59	16.137	0.9033	0.9057	0.27
60	16.305	0.9018	0.9001	-0.18

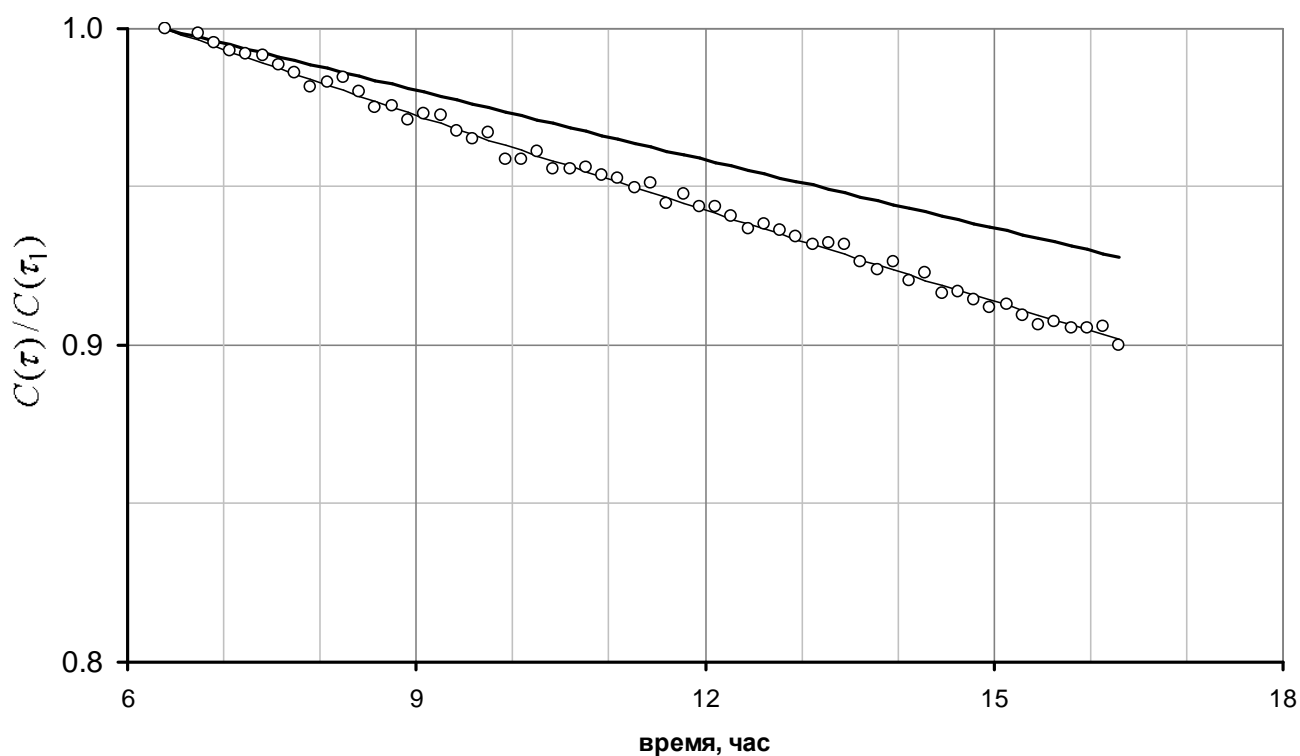


Рис. 1. Зависимости экспериментально определенного и расчетного темпов снижения объемной активности радона в камере от времени.

точки – экспериментальные данные;

тонкая сплошная линия – расчетные данные;

толстая сплошная линия – темп снижения объемной активности радона в загерметизированной камере (кривая распада) .

4. Результат испытаний

Коэффициент диффузии радона в пробе содержащий сваренный внахлест шов составляет:

$$D = (3,9 \pm 0,8) * 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Отв. исполнитель

с.н.с., к.т.н.

А. А. Цапалов

НИИСФ РААСН

Лаборатория «Радиационной Безопасности в Строительстве»

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 04/15040 от 18.05.2013 г.

Образец – Участок сварного шва (внахлест) гидроизоляционной ПВХ-мембраны «ПЛАСТФОИЛ U».

Проба № 4.

1. Геометрия измерений

Толщина пробы, мм	Диаметр пробы, мм	Объем измерительной камеры, м ³
2,00 *	117	0,00026

* толщина склейки 4,00 мм, ширина – 36 мм

2. Обозначения

$[0, \tau_1]$ - интервал времени, в течение которого в рабочей камере устанавливается радиоактивное равновесие между радоном и его дочерними продуктами распада;

$C(\tau)$ - объемная активность радона в камере, Бк/м³;

Индексы:

ε – экспериментальные данные,

p – расчетные данные .

3. Экспериментальные и расчетные данные

Номер периода измерения	Время, ч ($\tau \geq \tau_1$)	Темпы снижения объемной активности радона в камере		Отклонение экспериментальных значений темпа от расчетных, %
		$T^p = \frac{C^p(\tau)}{C^p(\tau_1)}$	$T^\varepsilon = \frac{C^\varepsilon(\tau)}{C^\varepsilon(\tau_1)}$	
1	2	3	4	5
1	6.374	1.0000	1.0000	0.00
2	6.541	0.9980	0.9945	-0.35
3	6.709	0.9961	1.0025	0.64
4	6.876	0.9941	0.9940	-0.02
5	7.044	0.9922	0.9929	0.07
6	7.211	0.9903	0.9877	-0.26
7	7.379	0.9883	0.9881	-0.03
8	7.546	0.9864	0.9867	0.03
9	7.714	0.9845	0.9832	-0.13
10	7.882	0.9826	0.9817	-0.09
11	8.049	0.9807	0.9809	0.02

12	8.217	0.9788	0.9746	-0.43
13	8.384	0.9769	0.9744	-0.25
14	8.552	0.9750	0.9766	0.984
15	8.719	0.9731	0.9737	0.05
16	8.888	0.9713	0.9708	-0.05
17	9.055	0.9694	0.9658	-0.37
18	9.223	0.9675	0.9680	0.05
19	9.390	0.9657	0.9645	-0.13
20	9.558	0.9638	0.9595	-0.45
21	9.725	0.9620	0.9626	0.06
22	9.893	0.9601	0.9558	-0.45
23	10.061	0.9583	0.9554	-0.30
24	10.228	0.9565	0.9529	-0.38
25	10.396	0.9546	0.9520	-0.28
26	10.564	0.9528	0.9497	-0.32
27	10.732	0.9510	0.9493	-0.17
28	10.899	0.9492	0.9533	0.44
29	11.067	0.9473	0.9409	-0.68
30	11.235	0.9455	0.9406	-0.52
31	11.402	0.9437	0.9398	-0.42
32	11.570	0.9419	0.9400	-0.20
33	11.737	0.9401	0.9415	0.14
34	11.905	0.9383	0.9373	-0.11
35	12.073	0.9365	0.9333	-0.35
36	12.241	0.9348	0.9361	0.14
37	12.408	0.9330	0.9315	-0.15
38	12.576	0.9312	0.9248	-0.68
39	12.743	0.9294	0.9289	-0.06
40	12.911	0.9276	0.9256	-0.23
41	13.079	0.9259	0.9276	0.18
42	13.247	0.9241	0.9231	-0.11
43	13.414	0.9223	0.9233	0.10
44	13.582	0.9206	0.9223	0.18
45	13.749	0.9188	0.9189	0.01
46	13.917	0.9171	0.9182	0.13
47	14.085	0.9153	0.9155	0.02
48	14.253	0.9136	0.9131	-0.05
49	14.421	0.9119	0.9132	0.15
50	14.588	0.9101	0.9073	-0.31
51	14.756	0.9084	0.9033	-0.56
52	14.924	0.9066	0.9073	0.07
53	15.092	0.9049	0.9079	0.33
54	15.259	0.9032	0.9033	0.01
55	15.427	0.9015	0.9045	0.34
56	15.594	0.8998	0.9062	0.72
57	15.762	0.8980	0.9054	0.82
58	15.930	0.8963	0.8973	0.11
59	16.098	0.8946	0.9021	0.84
60	16.265	0.8929	0.8918	-0.13

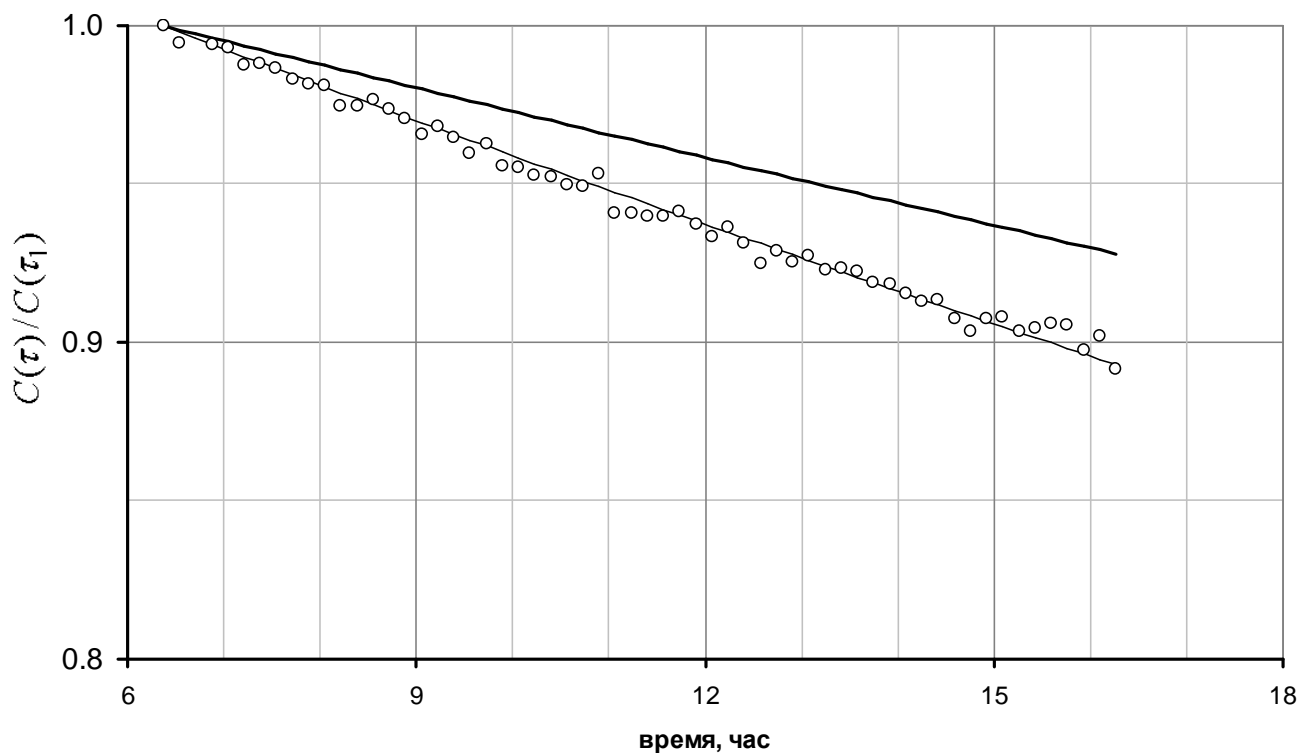


Рис. 1. Зависимости экспериментально определенного и расчетного темпов снижения объемной активности радона в камере от времени.

точки – экспериментальные данные;

тонкая сплошная линия – расчетные данные;

толстая сплошная линия – темп снижения объемной активности радона в загерметизированной камере (кривая распада) .

4. Результат испытаний

Коэффициент диффузии радона в пробе содержащий сваренный внахлест шов составляет:

$$D = (5,2 \pm 1,1) * 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Отв. исполнитель

с.н.с., к.т.н.

А. А. Цапалов