

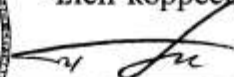
**Федеральное бюджетное учреждение науки
«Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт
радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева»**

(ФБУН научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева)

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФБУН научно-
исследовательский институт радиаци-
онной гигиены имени профессора
П.В.Рамзаева, д.м.н., профессор
Член-корреспондент РАН



 И.К. Романович

 14 ноября 2016 г.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ
РАДОНОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ
ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО
МАТЕРИАЛА МАРКИ PLASTFOIL® Geo
ПРОИЗВОДСТВА ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ»**

Отчет по Договору № 25-09-2/2016 от 5 сентября 2016 года

Ответственный исполнитель: к.т.н., д.б.н.

 И.П. Стамат

Санкт-Петербург
2016 год

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ:

Заведующий лабораторией дозиметрии природных источников, к.т.н., д.б.н.		И.П. Стамат
Ведущий инженер лаборатории дозиметрии природных источников		Т.А. Балабина
Старший научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников, к.г.-м.н.		В.А. Венков
Старший научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников		Н.А. Королева

РЕФЕРАТ

Отчет содержит: 30 страниц текста прописными буквами, 3 таблицы, 2 приложения и 17 ссылок на литературу.

Ключевые слова: радон, торон, здания, потоки радона, радонозащитная мембрана, коэффициент диффузии радона, длина диффузии радона, радонозащитные свойства материалов, рулонный материал, источники поступления радона в здания

Объектом исследования является гидроизоляционный полимерный материал марки PLASTFOIL®Geo по ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016 производства ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ»

Цель работы – определение радонозащитных характеристик гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo производства ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ»

В результате выполнения теоретических и экспериментальных исследований и анализа полученных данных определены численные значения базовых характеристик гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo производства ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ», которые характеризуют радонозащитные свойства материалов, - коэффициента диффузии радона и длину диффузии радона в пористых средах. По результатам исследований установлено, что наиболее вероятное значение коэффициента диффузии радона в гидроизоляционном полимерном материале марки PLASTFOIL®Geo составляет $(2,65 \pm 0,80) \cdot 10^{-8}$ см²/с, что обуславливает хорошие перспективы его применения в качестве высокоэффективной мембраны для защиты оснований зданий различного назначения от повышенных уровней поступления радона.

Уровень внедрения – локальный; при разработке и осуществлении мероприятий по защите зданий жилищного, общественного и производственного назначения от повышенных уровней радона в воздухе помещений.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
РЕФЕРАТ	3
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	8
ВВЕДЕНИЕ	9
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХ ПОМЕЩЕНИЙ	10
2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ЗДАНИЙ ОТ РАДОНА	11
3. ОПИСАНИЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ PLASTFOIL®Geo ПРОИЗВОДСТВА ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ»	13
4. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДОНОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ PLASTFOIL®Geo ПРОИЗВОДСТВА ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ»	13
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДОНОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ PLASTFOIL®Geo ПРОИЗВОДСТВА ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ»	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	24
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ PLASTFOIL®Geo ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ ОТ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДОНА ИЗ ПОЧВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ПОД НИМИ	25
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	28
Приложение 1. Протокол испытаний ИЛ ФБУН научно- исследовательский институт радиационной гигиены имени профессо- ра П.В.Рамзаева № 087-Rn/2016 от 14 ноября 2016 года	31
Приложение 2. Копии свидетельств о поверке средств измерений, ис- пользованных при определении радонозащитных свойств гидроизоля- ционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo	36

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете используются термины и определения:

Вмешательство – деятельность, направленная на снижение вероятности, либо дозы, либо неблагоприятных последствий облучения населения при радиационных авариях, при обнаружении радиоактивных загрязнений объектов окружающей среды или повышенных уровней природного облучения на территориях, в зданиях и сооружениях.

Длина диффузии радона в пористых средах – толщина материала Δl (см), при прохождении через который интенсивность потока радона снижается в $e = 2,72$ раза, определяемая по формуле:

$$\Delta l = \sqrt{D/\lambda}, \text{ см,}$$

где λ - постоянная распада радона, равная $2,10 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$.

Здание и сооружение производственное - здание и сооружение, предназначенное для организации производственных процессов или обслуживающих операций с размещением постоянных или временных рабочих мест. На отдельных производствах рабочие места могут размещаться на открытой территории производственного здания или сооружения.

Здание жилое – здание, предназначенное для постоянного или временного проживания людей, включая общежития.

Коэффициент диффузии радона в пористых средах – физическая величина, характеризующая плотность потока радона (q) через пористую среду при наличии градиента объемной активности радона в среде (dC/dx), определяемый уравнением:

$$q = -D \cdot dC/dx, \text{ Бк}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}),$$

где D – коэффициент диффузии радона в среде, $\text{см}^2/\text{с}$.

Объемная активность (ОА) радона – активность радона в единице объема газа (воздуха).

Среда обитания человека (среда обитания) – совокупность объектов, явлений и факторов окружающей (природной и искусственной) среды, определяющая условия жизнедеятельности человека.

Радионуклиды природные – радиоактивные элементы рядов ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th , а также ^{40}K (калий), ^{138}La (лантан), ^{147}Sm (самарий), ^{176}Lu (лютеций), ^{87}Rb (рубидий) и др., существующие в естественных условиях на Земле независимо от деятельности человека.

Эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) дочерних продуктов изотопов радона (^{222}Rn и ^{220}Rn) – взвешенная сумма объемных активностей смеси короткоживущих дочерних продуктов радона (ДПР) и торона (ДПТ) в воздухе, которая создает такую же эффективную дозу внутреннего облучения, что и смесь ДПР – ^{218}Po (RaA), ^{214}Pb (RaB), ^{214}Bi (RaC) и ДПТ – ^{212}Pb (ThB), ^{212}Bi (ThC), находящихся в радиоактивном равновесии с материнскими радионуклидами ^{222}Rn и ^{220}Rn .

Численное значение ЭРОА дочерних продуктов изотопов радона в воздухе ($A_{\text{экв}}$) рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{экв}} = A_{\text{экв}, \text{Rn}} + 4,6 \cdot A_{\text{экв}, \text{Tn}},$$

где $A_{\text{экв}, \text{Rn}} = 0,10 \cdot A_{\text{RaA}} + 0,52 \cdot A_{\text{RaB}} + 0,38 \cdot A_{\text{RaC}},$

$$A_{\text{экв}, \text{Tn}} = 0,91 \cdot A_{\text{ThB}} + 0,09 \cdot A_{\text{ThC}},$$

A_i – ОА дочерних продуктов изотопов радона.

Эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{\text{эфф}}$) – интегральная характеристика внешнего гамма-излучения материальных сред, содержащих природные радионуклиды, которая учитывает удельный вклад содержащихся в ней природных радионуклидов в мощность дозы гамма-излучения, и определяется соотношением:

$$A_{\text{эфф}} = \sum_{^{238}\text{U} + ^{235}\text{U}} k_i \cdot A_i + \sum_{^{232}\text{Th}} k_i \cdot A_i + A_{^{40}\text{K}} \cdot \sum_{^{40}\text{K}} k_i, \text{ Бк/кг},$$

в котором суммирование ведется по всем γ -излучающим радионуклидам природных рядов ^{238}U (первое слагаемое), ^{232}Th (второе слагаемое) и ^{40}K

(третье слагаемое), а коэффициенты k_i учитывают относительный вклад гамма-излучения каждого из природных радионуклидов во внешнее гамма-излучение материала с данным содержанием природных радионуклидов.

В условиях радиоактивного равновесия в рядах ^{238}U и ^{232}Th значение $A_{\text{ЭФФ}}$ рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{ЭФФ}} = A_{\text{Ra}} + 1,3 \cdot A_{\text{Th}} + 0,09 \cdot A_{\text{K}}, \text{ Бк/кг},$$

где: A_{Ra} и A_{Th} - удельная активность ^{226}Ra и ^{232}Th , находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами рядов ^{238}U и ^{232}Th соответственно; A_{K} - удельная активность ^{40}K , Бк/кг.

Другие понятия, термины и определения в настоящем отчете, если это не оговорено особо, понимаются в смысле, определенном действующими нормативными и правовыми документами в области радиационной безопасности населения.

Обозначения и сокращения

ОА – Объемная активность (в настоящем Отчете применяется в отношении радона в воздухе)

ППР - Плотность потока радона (с поверхности почвы, ограждающих конструкций помещений зданий)

ДПР – Дочерние продукты распада (в настоящем отчете применяется в отношении короткоживущих дочерних продуктов распада радона)

ЭРОА – Эквивалентная равновесная объемная активность (в настоящем отчете применяется в отношении короткоживущих дочерних продуктов распада радона)

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в нашей стране, как и в большинстве зарубежных стран основной вклад (около 70-80 %) в суммарные дозы облучения населения за счет всех источников ионизирующего излучения вносят природные источники, среди которых основная доля приходится на облучение населения радонном и его короткоживущими дочерними продуктами распада в воздухе помещений [1, 2, 3]. Причем в среднем по стране около 60 % от суммарных доз природного облучения населения приходится на долю изотопов радона в воздухе помещений. Для отдельных территорий с повышенной потенциальной радоноопасностью вклад изотопов радона в суммарные дозы облучения населения достигает 85-90 %.

Согласно требований действующих нормативных правовых документов в области радиационной безопасности населения (НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010 и СанПиН 2.6.1.2800-10), для ограничения облучения населения за счет природных источников излучения установлены гигиенические нормативы по допустимому содержанию изотопов радона в воздухе помещений жилых, общественных и производственных зданий. В тех случаях, когда указанные нормативы не выполняются, нормативными документами предписано проведение мероприятий по снижению содержания изотопов радона в воздухе помещений.

Одним из наиболее эффективных мероприятий по снижению содержания радона в воздухе помещений является изоляция источника поступления радона с использованием так называемых радонозащитных мембран. Как правило, в качестве радонозащитных мембран в практике защиты зданий от радона применяются различные газо- и гидроизоляционные материалы, применяемые в современных строительных технологиях. Эти материалы в большинстве своем обладают и радонозащитными свойствами, однако для реализации мероприятий по защите зданий от повышенных уровней радона необходимы конкретные сведения о радонозащитных свойствах этих материалов.

Целью работы является определение радонозащитных свойств гидроизоляционного полимерного материала марки **PLASTFOIL® Geo** производства ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб».

Для реализации поставленной цели в настоящем исследовании решались следующие основные задачи:

- обоснование методики определения коэффициента диффузии радона и длины диффузии радона в материале образцов гидроизоляционного полимерного материала марки **PLASTFOIL® Geo**;

- проведение теоретических и экспериментальных исследований по определению численных значений коэффициента диффузии радона и длины диффузии радона в образцах гидроизоляционного полимерного материала марки **PLASTFOIL® Geo** и образцах сварного шва материала;

- провести сравнительный анализ радонозащитных характеристик гидроизоляционного полимерного материала марки **PLASTFOIL® Geo** с аналогичными свойствами известных радонозащитных материалов и обосновать рекомендации по его применению в практике радонозащиты зданий.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХ ПОМЕЩЕНИЙ

Известно, что в большинстве случаев основным источником поступления радона в воздух помещений является подпочвенное пространство под зданиями [2, 4]. В некоторых случаях заметный вклад в поступление радона в воздух помещений вносят ограждающие конструкции зданий и сооружений, питьевая вода (чаще всего из подземных водоносных горизонтов), а также природный газ отдельных месторождений, используемый для сжигания в домах. В редких случаях источником поступления радона в воздух помещений может быть наружная атмосфера [2, 3].

Основными механизмами поступления радона в воздух помещений из подпочвенного пространства под зданиями и из ограждающих конструкций

зданий являются диффузионный и конвективный. Диффузионный механизм поступления радона обусловлен наличием градиента концентраций - разностью концентраций (объемной активности) радона в воздухе помещений и в почвенном пространстве или в объеме ограждений. Конвективный (или адвективный) механизм обусловлен наличием разности давлений между внутренним объемом здания и внешней атмосферой, а также различными частями здания и т.д. Принципиальные различия между диффузионным и конвективным механизмами поступления радона в здание приводят к необходимости использования различных подходов к описанию этих процессов, и различных инженерных мер по уменьшению поступления радона в здание.

Основные пути поступления радона в помещение, за исключением прямого диффузионного поступления из строительных материалов, связаны с элементами фундамента здания, контактирующими с подстилающей почвой.

2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ЗДАНИЙ ОТ РАДОНА

Планирование и проведение инженерно-строительных мероприятий по снижению содержания радона в воздухе помещений для обеспечения радиационной безопасности населения основывается на принципе оптимизации. В отношении облучения населения радоном в жилых помещениях принцип оптимизации защиты подразумевает устойчивое снижение и удержание индивидуальных доз облучения на таком низком уровне, насколько это разумно достижимо с учетом социально-экономических факторов.

Мероприятия по защите зданий от радона могут быть направлены на источник поступления радона в помещения или на удаление его из воздуха помещений. При этом они могут быть пассивными или активными.

Наиболее эффективными, долговременными и одновременно экономичными считаются радонозащитные мероприятия пассивного типа, направленные на источник поступления радона в здания. Как правило, такие меро-

приятия наиболее часто используются на стадии строительства зданий. Основным методом изоляции источника поступления радона в таких случаях является изоляция основания здания в местах его контакта с почвой и грунтами с использованием радонозащитных мембран из различных материалов.

Известны также методы снижения содержания радона в воздухе помещений за счет вентилирования воздушного пространства здания, подпочвенного пространства под зданием и др.

Снижение содержания радона за счет увеличения кратности воздухообмена наиболее эффективно при диффузионном механизме поступления радона в здание независимо от того, является ли источником радона почва под зданием или материалы строительных конструкций. Однако возможности повышения кратности воздухообмена в зданиях ограничены требованиями к подвижности воздуха в помещениях. Кроме того, это мероприятие требует значительных затрат на снижение шума в помещениях, подогрев воздуха в помещениях и т.д.

Вентилирование почвенного пространства под зданием является эффективной мерой защиты зданий от радона в ситуациях, когда основным источником поступления радона является грунт под зданием, а доминирующим механизмом поступления радона является конвективный перенос радона из почвы под зданием в помещения нижележащих этажей.

В большинстве случаев на стадии строительства новых зданий наиболее эффективным мероприятием является изоляция источника поступления радона с применением специальных радонозащитных мембран [5, 6]. В эксплуатируемых зданиях наиболее эффективны мероприятия по повышению кратности воздухообмена помещений в сочетании с изоляцией основных путей поступления радона в здания.

Укладка радонозащитных мембран между элементами подземной части зданий и почвой под ними практически всегда является составной частью радонозащитных мероприятий.

3. ОПИСАНИЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ PLASTFOIL®Geo ПРОИЗВОДСТВА ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ»

Гидроизоляционный полимерный материал марки PLASTFOIL®Geo производится в ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ» по ТУ 23.99.12.110-012-54349294-2016. Материал имеет верхний слой желтый, нижний – черный. Выпускается материал рулонами. Согласно декларации ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ» (исх. № 557 от 20.05.2016 г.), основное применение гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo - для гидроизоляции энергоэффективных кровель с улучшенным коэффициентом светоотражения (для белого цвета). На гидроизоляционный полимерный материал марки PLASTFOIL®Geo оформлен сертификат соответствия в системе сертификации ГОСТ Р и оформлена Декларация производителя (июль 2016 г.).

Производится гидроизоляционный полимерный материал марки PLASTFOIL®Geo толщиной 1,5 и 2,0 мм. В местах стыка полосы материала закрепляются сварным швом.

Для определения радонозащитных свойств гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo были представлены образцы материала в рулонах толщиной 1,5 и 2,0 мм, а также образец сварного шва материала толщиной 2,0 мм.

4. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДОНОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ PLASTFOIL®Geo ПРОИЗВОДСТВА ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ»

Традиционные методы определения коэффициента диффузии радона через различные виды испытываемых образцов радонозащитных материалов 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 испытываемых из-

делий помещаются в герметичную камеру, в которой определяется динамика роста ОА радона в воздухе [7, 8, 9].

В некоторых модификациях этой методики образцы изделий герметизируются со всех сторон, кроме одной, к которой приклеивается накопительная или измерительная камера [8, 10, 11]. Основная сложность в определении коэффициента диффузии радона через пористые материалы известными методами связана с измерением активности радона, диффундирующего через слой материала известной толщины. В одних случаях, например, при изоляции всех, кроме одной, стороны образца [10], при герметизации образца в накопительной камере небольшого объема [11, 12] нарушаются граничные условия диффузии радона из экспериментального образца. В этом случае значение коэффициента диффузии радона из образца оказывается недооценено.

Кроме этого, большинство известных методик позволяют корректно определять значение коэффициента диффузии радона через материалы, из которых скорость эксхалляции радона близка к нулю. Поэтому прямое применение известных методик для определения коэффициента диффузии радона через образцы таких изделий затруднительно ввиду того, что сами эти изделия могут являться источником интенсивного выделения радона [11, 13]. Так, для глазурованных керамических изделий, в которых основная часть активности ^{226}Ra сосредоточена в тонком слое глазури на лицевой стороне изделий, применение традиционных методов определения коэффициента диффузии оказывается неприменимым вообще [13].

Для определения коэффициента диффузии радона через образцы гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo нами использована 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 неземанирующие среды – различного рода рулонные гидро- и газоизо-

ляционные материалы, которые широко используются в современном строительстве зданий различного назначения.

Второй вариант математической модели диффузии радона через эманлирующие изделия 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 могут быть использованы для экспериментального определения коэффициента диффузии радона через рулонные материалы, образцы бетонов и облицовочных изделий в серии экспериментальных исследований.

Нами использован вариант методики определения коэффициента диффузии радона через пористые материалы 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 размером от 100x100 до 250x300 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 составляла 1,5-2 мм для гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo и 4 мм для сварного шва, а диаметр используемых измерительных камер с трековым детектором (ИТРП) 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 нами использовался контрольный образец из оргстекла размером 300x300 мм

и толщиной 6 мм. Контрольный образец, на который также приклеивалось не менее 5 измерительных камер с трековым детектором, помещался для одновременного экспонирования вместе с исследуемыми образцами радонозащитного материала в рабочую камеру образцовой установки (РК ОУ - герметичный бокс со шлюзом).

Определение коэффициента диффузии радона в эманлирующих изделиях производится в два этапа. На одном из них определяется плотность потока радона из изделий, обусловленная эксхалляцией радона из них, после чего цикл измерений повторяется с экспонированием образцов этих изделий в радоновой атмосфере РК ОУ.

Подготовленные для исследований образцы рулонных материалов помещаются в герметичную рабочую камеру образцовой установки, в которую после герметизации подается газообразный радон в количестве, достаточном для установления в ней объемной активности радона на уровне 10-25 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:

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

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);

λ – постоянная распада радона, равная $2,097 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$;

Δh – толщина образцов исследуемого материала, равная 1,5 или 2,0 мм, и толщина сварного шва, равная 4 мм;

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

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

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

Введя обозначения:

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

и, подставив (2) в уравнение (1), получим уравнение, описывающее динамику изменения ОА радона в воздухе измерительных камер с трековым детектором:

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

Учитывая, что в начальный момент времени $\tau=0$ объемная активность радона в объеме измерительной камеры (ИТРР) близка к нулю (не превышает ОА радона в воздухе помещения и составляет не более 20-30 Бк/м³), 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 экспериментальной камеры в период экспонирования. Это связано с тем, что в технологии трековой радиомет-

рии радона непосредственно измеряемой величиной является «интегральная ОА радона в воздухе» \bar{C} , которая определяется соотношением:

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

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

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

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

Из обозначений (3) 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 $T > 1/\lambda$ экспоненты в (7) 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:

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

В формуле (8) 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:

$$D = \frac{\bar{C} - C_{\phi}}{C_{RK}(\tau = 0)} \cdot \frac{2 \cdot h_K \cdot \Delta h}{T}, \text{ см}^2/\text{с}, \quad (9)$$

где C_{ϕ} - интегральная ОА радона по данным экспонирования облицовочных изделий в комнатных условиях при низких уровнях ОА радона в воздухе помещения.

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:

$$l = \sqrt{D/\lambda}, \text{ см}. \quad (10)$$

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 2,72 раза.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДОНОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ PLASTFOIL® Geo ПРОИЗВОДСТВА ООО «ПЕНОПЛЭКС СПБ»

Разработанные варианты методики использованы для определения коэффициента диффузии радона через пористые материалы, в том числе через керамические и керамогранитные 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.

Для экспериментальных исследований по определению коэффициента диффузии радона через гидроизоляционный полимерный материал марки PLASTFOIL® Geo были использованы образцы материала толщиной 1,5 и 2,0

мм, а также образец сварного шва из материала толщиной 2,0 мм. Все образцы рулонного материала и сварного шва вместе с образцом оргстекла, который используется как контрольный образец, моделирующий непрозрачную для радона мембрану, экспонировались в рабочей камере двукратно.

Время экспонирования в первом цикле составило 12 суток 17 часов и 10 минут ($1,0986 \cdot 10^6$ с), во втором цикле – 8 суток 19 часов и 10 минут ($7,602 \cdot 10^5$ с).

Исходные данные по ОА радона в воздухе ИТРП и рабочей камеры образцовой установки (бокса) приведены в Протоколе лабораторных испытаний ИЛ ФБУН научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева № 087-Rn/2016 от 14.11.2016 г. Характеристики размеров интегральных трековых радиометров радона, которые используются для дальнейших расчетов диффузионных свойств гидроизоляционного полимерного материала марки «PLASTFOIL®Geo», приведены в табл. 1.

Таблица 1. – Исходные данные для определения коэффициента диффузии и длины диффузии радона в образцах гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo

Параметр (физическая величина) и его размерность	Численное значение
Площадь диффузии S_0 (открытый торец ИТРП), см^2	$21,2 \pm 2,0$
Высота ИТРП (по внутреннему габариту) h_K , см	$3,30 \pm 0,01$
Толщина образцов материала Δh , мм	$1,5/2,0$ сварной шов $2,0+2,0$
Объем цилиндрической емкости V_0 , см^3	$102,0 \pm 5,0$
Объем рабочей камеры ОУ V , дм^3	750 ± 15

Используя эти данные, нами учитывалось, что определенная часть радона в объем ИТРП диффундировала через неплотности клеевого слоя, поэтому в численное значение \bar{C} по каждой группе образцов вносилась поправка, которая определялась по данным измерений ОА радона с использованием

контрольного образца – оргстекла толщиной 6 мм. Для учета поправки на возможные утечки радона из объема рабочей камеры образцовой установки исходное значение ОА радона в воздухе $C_{RK}(\tau = 0)$ нами определялось по данным непрерывного мониторинга ОА в рабочей камере с помощью монитора радона AlphaGUARD PQ 2000 PRO.

Программное обеспечение монитора позволяет определить среднее значение ОА радона за весь период экспонирования экспериментальных образцов, из которого легко получить «исправленное» значение ОА радона в воздухе РК ОУ по формуле:

$$C_{RK}(\tau = 0) = \bar{C}_{RK} \cdot \frac{\lambda \cdot T}{1 - \exp(-\lambda \cdot T)}. \quad (11)$$

Численные значения интегральной средней ОА радона в воздухе рабочей камеры \bar{C}_{RK} по данным монитора радона AlphaGUARD PQ 2000 PRO приведены в Протоколе лабораторных испытаний ИЛ ФБУН научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева № 087-Rn/2016 от 14.11.2016 г.

Результаты расчета численных значений коэффициента диффузии радона в образцах гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo и длины диффузии радона в материале образцов, а также в образце сварного шва приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Экспериментальные данные и результаты расчета диффузионных характеристик образцов гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo

Толщина материала	T, с	\bar{C} , Бк/м ³	$C_{RK}(\tau = 0)$, Бк/м ³	D, см ² /с	l, см
1,5 мм	1,0986*10 ⁶	490	20 000	1,97*10 ⁻⁸	0,097
	7,6020*10 ⁵	470	15 600	3,56*10 ⁻⁸	0,130
2,0 мм	1,0986*10 ⁶	420	20 000	2,26*10 ⁻⁸	0,138
	7,6020*10 ⁵	255	15 600	2,36*10 ⁻⁸	0,106
Образец свар-	1,0986*10 ⁶	240	20 000	2,37*10 ⁻⁸	0,106

Толщина материала	T, c	$\bar{C},$ Бк/м ³	$C_{RK}(\tau=0),$ Бк/м ³	$D, \text{см}^2/\text{с}$	$l, \text{см}$
ного шва	$7,6020 \cdot 10^5$	195	15 600	$3,38 \cdot 10^{-8}$	0,127
Контрольный образец	$1,0986 \cdot 10^6$	$C_{\phi} = 43$	-	-	-

Как следует из представленных в табл. 2 данных, гидроизоляционный полимерный материал марки PLASTFOIL® Geo обладает достаточно хорошими радонозащитными свойствами. Оценки численного значения коэффициента диффузии по данным экспериментальных исследований образцов материала разной толщины, а также образца сварного шва оказались достаточно близкими.

Среднее значение коэффициента диффузии радона в гидроизоляционном полимерном материале марки PLASTFOIL® Geo по данным всех измерений оценивается величиной $(2,65 \pm 0,80) \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$ при максимальном отклонении единичной оценки от среднего значения не более 34 %, что можно считать вполне удовлетворительным для результатов такого рода экспериментальных исследований.

Значение коэффициента диффузии радона в гидроизоляционном полимерном материале марки PLASTFOIL® Geo оказалось примерно в 23 раза ниже, чем для аналогичного материала марки ПЛАСТФОИЛ U по результатам определения в отчете [12].

Длина диффузии радона в гидроизоляционном полимерном материале марки PLASTFOIL® Geo составляет от 0,100 до 0,138 см при среднем значении $(0,117 \pm 0,035) \text{ см}$ при максимальном отклонении единичной оценки от среднего менее 18 %.

Для сравнения радонозащитных свойств гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL® Geo в табл. 3 приведены значения коэффициента диффузии радона и длины диффузии радона в различных материалах.

Таблица 3. – Значения коэффициента диффузии (D) и длины диффузии (l) радона в различных материалах

Материал (изделие)	D , см ² /с	l , см
Бетоны легкие [7, 8, 10]	$1,4 \cdot 10^{-3}$	26,0
Бетоны тяжелые [7, 8, 10]	$3,5 \cdot 10^{-4}$	13,0
Бетоны тяжелые [15]	$7,0 \cdot 10^{-5}$	6,0
Магнезиальные бетоны разных марок	$(0,53-5,7) \cdot 10^{-6}$	0,5-1,65
Кирпич красный [7, 8, 10]	$4,7 \cdot 10^{-4}$	15,0
Кирпич [15]	$3,5 \cdot 10^{-3}$	40,0
Рулонный материал «Техноэласт» [14]	$(1,26-1,44) \cdot 10^{-6}$	0,77-0,83
Рулонный материал «Техноэласт М» [14]	$(0,84-1,04) \cdot 10^{-6}$	0,63-0,70
Радонозащитная мембрана «Monaflex RMB 400» (Дания). Цит. по [14]	$(8-11) \cdot 10^{-12}$	0,002
Рулонные материалы марки Фатрафол	$(0,70-1,37) \cdot 10^{-8}$	0,058-0,081
Рулонные материалы марки Абрис С	$(0,42-2,90) \cdot 10^{-6}$	0,15-0,40
Рулонные материалы марки Изопласт	$(1,40-1,80) \cdot 10^{-6}$	0,80-0,90
Плитка керамогранитная	$4,40 \cdot 10^{-8}$	0,145
Плитка керамическая глазурованная	$1,32 \cdot 10^{-7}$	0,250
ПВХ мембрана марки «ПЛАСТФОИЛ U» [12]	$6,00 \cdot 10^{-7}$	0,535
Гидроизоляционный полимерный материал марки PLASTFOIL®Geo	$2,65 \cdot 10^{-8}$	0,117

Как следует из данных табл. 3, из числа рулонных материалов гидроизоляционный полимерный материал марки PLASTFOIL®Geo обладает наиболее лучшими радонозащитными свойствами. Вполне сопоставимыми радонозащитными свойствами характеризуются только рулонные материалы Фатрафол. Что касается радонозащитных характеристик радонозащитной мембраны «Monaflex RMB 400» (Дания), то, судя по приведенным данным [9], этот материал является вообще уникальным. Несколько лет назад нами были выполнены исследования радонозащитных свойств аналогичного материала марки Flexigum (Израиль). Однако, несмотря на уникальные свойства

материала, он не нашел практического применения в мероприятиях по защите зданий от повышенных уровней радона в силу прежде всего своих стоимостных характеристик и сложной технологии нанесения покрытия на поверхность строительных изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнены теоретические и экспериментальные исследования радонозащитных свойств гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo производства ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб». Исследования выполнены на представительных образцах материала толщиной 1,5 и 2,0 мм из товарных партий, а также на образце сварного шва из рулонов толщиной 2 мм. По результатам исследований получена оценка численного значения коэффициента диффузии радона в материале марки PLASTFOIL®Geo и длины диффузии радона в нем.

Установлено, что наиболее вероятное значение коэффициента диффузии в гидроизоляционном полимерном материале марки PLASTFOIL®Geo составляет $(2,65 \pm 0,80) \cdot 10^{-8}$ см²/с, причем эта величина достаточно хорошо воспроизведена также и на образцах сварного шва. Последнее, очевидно, можно оценить положительно в том смысле, что при производстве сварных швов радонозащитные свойства материала не ухудшаются, что важно для использования гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo в практике радонозащиты зданий большой площади, когда возникает необходимость в укладке радонозащиты в несколько рядов и/или слоев.

Сравнительный анализ данных о радонозащитных свойствах различных материалов и изделий показал, что в числе наиболее широко известных рулонных газо- и гидроизоляционных материалов рулонный полимерный материал марки PLASTFOIL®Geo характеризуется несколько более лучшими

радонозащитными свойствами. Близкими радонозащитными свойствами обладают только рулонные материалы марки Фатрафол.

Исходя из сказанного считаем возможным рекомендовать применение гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL® Geo производства ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб» для радонозащиты зданий жилищного, общественного и производственного назначения.

В расчетах по определению необходимой суммарной толщины радонозащиты зданий с использованием гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL® Geo производства ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб» следует принимать значение коэффициента диффузии радона в материале равным $(2,65 \pm 0,80) \cdot 10^{-8}$ см²/с, а длину диффузии радона в материале равной $(0,117 \pm 0,035)$ см.

При стандартной толщине материала 1,5 мм 1 слой гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL® Geo обеспечивает снижение потока радона не менее чем в 3 раза.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ PLASTFOIL® Geo ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ ОТ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДОНА ИЗ ПОЧВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ПОД НИМИ

Потенциалом переноса радона в пористых материалах является градиент концентраций атомов радона в пористых средах. В более привычных для процессов переноса радиоактивных газов в пористых средах величинах этот потенциал определяется градиентом объемной активности радона в воздушном пространстве пористых сред. При этом плотность потока радона через мембрану, установленную в основании здания, и разделяющую воздушное пространство почвы под зданием и воздух в объеме помещений нижележащих этажей, определяется модифицированным уравнением Фика:

$$q \approx -gradC_{Rn} \cdot D, \text{ Бк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}), \quad (12)$$

в котором знак минус указывает на то, что поток радона направлен в сторону, противоположную градиенту ОА радона между разными сторонами от радонозащитной мембраны.

Из этого уравнения вытекают два важных следствия. Во-первых, поток радона в объем помещения через мембрану (Q), кроме плотности потока радона (q), будет определяться площадью самой мембраны (S), что очевидно:

$$Q = S \cdot q \approx -gradC_{Rn} \cdot D \cdot S, \text{ Бк/с.} \quad (13)$$

Во-вторых, если мембрана будет абсолютно непрозрачной для радона (случай, когда $D \cong 0$), то поток радона через мембрану будет определяться общей площадью неплотностей (щелей, трещин, разрывов и т.п.) в ней, которые образовались при укладке мембраны. При этом следует иметь в виду еще и тот момент, что в обычных условиях ОА радона в почвенном воздухе на глубине 0,5-1,0 м от поверхности земли и более составляет многие кБк/м³ [2, 3, 7], в то время как в воздухе помещений для ОА радона характерны значения на 2-3 порядка ниже.

Поэтому укладка любой радонозащитной мембраны в основании здания приводит к существенному увеличению ОА радона в почвенном воздухе и, соответственно, к заметному возрастанию градиента ОА радона между разными сторонами мембраны. То есть, радонозащитная мембрана обеспечивает снижение притока радона в воздух помещений нижележащих этажей здания согласно величине D только в том случае, если она при укладке полностью остается невредимой. Если же в процессе укладки радонозащитной мембраны образовались трещины, разрывы и пр., то уравнение (13) в этом случае уже не будет описывать приток радона в помещения нижележащих этажей здания. В таких ситуациях поток радона в воздух помещений будет описываться уравнением:

$$Q_B \approx -gradC_B^{\Sigma} \cdot D_B \cdot S^{\Sigma}, \text{ Бк/с,} \quad (13a)$$

в котором D_b - коэффициент диффузии радона в воздухе, а S^Σ - суммарная площадь образовавшихся неплотностей мембраны (трещин, разрывов и т.п.). Для понимания важности требования к целостности мембраны при укладке ее в качестве радонозащиты укажем, что коэффициент диффузии радона в воздухе составляет примерно $0,1 \text{ см}^2/\text{с}$, а длина диффузии радона в воздухе – около $2,2 \text{ м}$ [7].

Из этого нетрудно видеть, что радонозащитная мембрана с дефектами практически перестает выполнять функции радонозащиты. Поэтому основная рекомендация по применению гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo для защиты основания зданий и сооружений от поступления радона из почвенного пространства под ними в помещения нижележащих этажей сводится к тому, что ***при укладке радонозащитной мембраны должны предприниматься все меры по предотвращению ее повреждений с образованием трещин, разрывов*** и т.п.

Как следует из данных табл. 3, длина диффузии радона в тяжелых бетоне примерно в 100-110 больше, чем в гидроизоляционном полимерном материале марки PLASTFOIL®Geo. Фундаментное основание зданий и сооружений, в том числе и подземные этажи зданий, обычно возводится с использованием тяжелых бетонов. Поэтому в тех случаях, когда уровень нижнего этажа зданий находится ниже нулевой отметки земли более чем на $0,5-1 \text{ м}$, значительным может оказаться горизонтальная составляющая потока радона в помещения нижних этажей. В проекте таких зданий, кроме укладки радонозащитной мембраны с использованием гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo, следует предусмотреть также покрытие радонозащитной мембраной вертикальных фундаментных и несущих стен подземных этажей зданий.

В плане обеспечения долговечности радонозащиты основания зданий с использованием гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL®Geo, как и других рулонных материалов важно также, чтобы со

временем не происходило высыхание клеящей основы, с помощью которой материал приклеивается к ограждающим конструкциям. Для этого следует использовать нетвердеющие мастики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. //UNSCEAR Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Volume I: Sources. – UN, NY, 2000. – 654 p.

2. Стамат И.П. Система гигиенических требований по ограничению облучения населения Российской Федерации природными источниками излучения : автореф. дисс. ...докт. биол. наук / И.П. Стамат. – СПб, 2012 г. – 47 с.

3. Романович И.К. Гигиенические аспекты облучения населения природными источниками ионизирующего излучения / И.К. Романович, П.Г. Ромашов, В.В. Семенова, И.П. Стамат, Т.А. Кормановская // Учебное пособие / СПб НИИ радиац. гигиены им. проф. П.В. Рамзаева, СПб гос. мед. акад. им. И.И. Мечникова / под ред. И.К. Романовича и П.Г. Ромашова. – СПб., 2008. – 144 с.

4. Жуковский М.В. Радоновая безопасность зданий / М.В. Жуковский, А.В. Кружалов, В.Б. Гурвич, И.В. Ярмошенко. - Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 180 с.

5. Akerblom G., German O., Stamat I., e.a. Radon in Dwellings in the Republic of Kalmykia Results from the National Radon Survey 2006-2007 // Report SSI number: 2009:04 ISSN: 2000-0456. – 44 p.

6. Стамат И.П. Оценка вклада эманирования радона с поверхности облицовочных изделий в облучение населения / И.П. Стамат, А.В. Световидов, Д.И. Стамат, Г.А. Горский, В.А. Венков // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 4. - С. 16-22.

7. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений / Э.М. Крисюк. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
8. Королева Н.А. Выделение радона из строительных материалов в жилищах / Н.А. Королева, Н.И. Шалак, Э.М. Крисюк, М.В. Терентьев // Гигиена и санитария. – 1985. - № 7. – С. 64 – 66.
9. Гулабянц Л.А. Экспериментальное устройство для измерения коэффициента диффузии радона в материалах / Л.А. Гулабянц, А.А. Цапалов // АНРИ. – 2006. - № 4 (47). – С. 35-37.
10. Шалак Н.И. Обоснование метода оценки и исследование радиоактивности строительных материалов : автореф. дисс. ...канд. техн. наук / Н.И. Шалак. – М., 1974 г. – 28 с.
11. Yahong Mao. Physical Models and Limits of Radionuclides for decorative building Materials / M. Yahong, L. Yigang, F. Yuchuan and L. Libin. // Health Phys. - 2006. - V. 90, # 5. - P. 471-475.
12. Гулабянц Л.А., Цапалов А.А. и др. Исследование радонопроницаемости ПВХ мембраны «ПЛАСТФОИЛ U» // Отчет о научно-технической работе по Договору № 15040 (2013) от 15.03.2013 г. – М.: НИИСФ РААСН. – 2013. – 24 с.
13. Световидов А.В. Исследование радонозащитных характеристик облицовочных изделий и материалов / А.В. Световидов, И.П. Стамат, В.А. Венков // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 3. - С. 19-25.
14. Гулабянц Л.А. Определение коэффициента диффузии радона в бетоне и изоляционных материалах / Л.А. Гулабянц, А.А. Цапалов // АНРИ. – 2008. - № 2 (53). – С. 44-48.
15. Keller G., Hoffman B. and Feigenspan T. Radon Permeability and Radon Exhalation of building Materials // Radon in the Living Environment. – 19-23 April 1999. Athens, Greece. P. 1271-1278.
16. Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009 утв. 07.07.2009, №7). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН

2.6.1.2523-09. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.

17. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). СП 2.6.1.2612-10. Зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 11 августа 2010 г., регистрационный № 18115. - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2010. 83 с.

Приложение 1

Протокол испытаний

**ИЛ ФБУН научно-исследовательский институт радиационной гигиены
имени профессора П.В.Рамзаева № 087-Рп/2016 от 14 ноября 2016 года**

Протокол лабораторных испытаний ИЛ ФБУН научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева № 087-Rn/2016 от 14 ноября 2016 года

Нормативно-методическая документация, использованная при проведении измерений (МВИ, номер и дата утверждения, кем утверждено):

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09.
2. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). СП 2.6.1.2612-10.
3. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. СанПиН 2.6.1.2800-10.
4. Методические указания/ГСИ. Интегральная объемная активность радона-222 в воздухе. Методика выполнения измерений с применением комплекса средств измерений интегральной объемной активности радона-222 в воздухе трековым методом КСИОАР-01.-СПб, 1995 г. Утверждены Глав. Гос. Центром единства измерений ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.

Условия проведения измерений (испытаний):

$t_a = + (21-23) ^\circ\text{C}$; $\varphi_n = 60-75 \%$; $P = (745-773) \text{ мм Нг}$.

Результаты измерений интегральной ОА радона

№ п/п	№ ИТРП	Время экспонирования ИТРП, сутки	Среднее значение ОА ^{222}Rn в рабочей камере, Бк/м ³	Измеренные значения ОА ^{222}Rn по ИТРП, Бк/м ³	Среднее значение (ОА _{Rn} ±Δ _{Rn}) по образцу, Бк/м ³
<i>Образец материала марки «PLASTFOIL®Geo» толщиной 1,5 мм (1-й цикл)</i>					
1.	554	12,7	7800 ± 1600	764	600 ± 180
2.	7765			716	
3.	4521			432	
4.	1005			482	
5.	6929			549	
6.	2941	12,7	7800 ± 1600	358	410 ± 120
7.	3314			377	
8.	8277			501	
9.	665			406	
10.	3604	12,7	7800 ± 1600	394	470 ± 145
11.	3920			394	
12.	1800			568	
13.	1881			532	
14.	1835				
15.	786				
Среднее по трем образцам материала толщиной 1,5 мм					490 ± 150
<i>Образец материала марки «PLASTFOIL®Geo» толщиной 1,5 мм (2-й цикл)</i>					
16.	2119	8,8	7800 ± 1600	425	470 ± 140
17.	7744			496	
18.	3545			496	
19.	2610			468	
20.	1835			489	
21.	3215			433	

*Протокол лабораторных испытаний ИЛ ФБУН научно-исследовательский институт
радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева № 087-Рп/2016 от 14 ноября 2016 года*

№ п/п	№ ИТРП	Время экспонирования ИТРП, сутки	Среднее значение ОА ²²² Rn в рабочей камере, Бк/м ³	Измеренные значения ОА ²²² Rn по ИТРП, Бк/м ³	Среднее значение (ОА _{Rn} ±Δ _{Rn}) по образцу, Бк/м ³
<i>Образец материала марки «PLASTFOIL®Geo» толщиной 2,0 мм (1-й цикл)</i>					
22.	1817	12,7	7800 ± 1600	-	360 ± 110
23.	8006			210	
24.	877			286	
25.	476			429	
26.	3645			525	
27.	7744	12,7	7800 ± 1600	382	400 ± 120
28.	4136			525	
29.	3227			477	
30.	6250			310	
31.	3669			303	
32.	8140	12,7	7800 ± 1600	680	510 ± 170
33.	869			525	
34.	906			346	
35.	1306			494	
Среднее по трем образцам материала толщиной 2.0 мм					420 ± 140
<i>Образец материала марки «PLASTFOIL®Geo» толщиной 2,0 мм (2-й цикл)</i>					
36.	1817	8,8	7800 ± 1600	240	255 ± 80
37.	3108			202	
38.	877			354	
39.	728.			340	
40.	2202			128	
41.	2941			266	
Образец сварного шва материала толщиной 2,0 мм					
42.	2828	12,7	7800 ± 1600	110	240 ± 70
43.	073			-	
44.	3108			253	
45.	2119			277	
46.	1866			396	
47.	3807	8,8	7800 ± 1600	167	195 ± 60
48.	3664			160	
49.	1881			245	
50.	2587			-	
51.	788			177	
52.	4521			145	
53.	1005	12,7	7800 ± 1600	248	43 ± 15
54.	1273			31	
55.	1959			40	
56.	685			48	
57.	2875			43	
58.	1074	55			

Протокол лабораторных испытаний ИЛ ФБУН научно-исследовательский институт
радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева № 087-Рн/2016 от 14 ноября 2016 года


- Примечания: 1. Интегральное среднее значение ОА радона в воздухе рабочей камеры контролировалось монитором радона AlphaGUARD PQ 2000 PRO
2. ИТРР – измерительная камера с трековым детектором
3. По данным измерений удельная активность природных радионуклидов в материале марки «PLASTFOIL® Geo» составляет: ^{232}Th – менее 12 Бк/кг, ^{226}Ra – (11 ± 6) Бк/кг, ^{40}K – менее 40 Бк/кг.

Ответственные за проведение исследований:

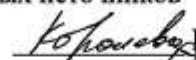
Ведущий инженер лаборатории дозиметрии природных источников

 Т.А. Балабина

Ст. научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников, к.г.-м.н.

 В.А. Венков

Ст. научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников

 Н.А. Королева

Заведующий лабораторией дозиметрии природных источников, д.б.н.

 И.П. Стамат

Приложение 2

Копии свидетельств о поверке средств измерений, использованных при определении радонозащитных свойств гидроизоляционного полимерного материала марки PLASTFOIL® Geo

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ВНИИМ им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА"

190005, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19
Факс: 7 (812) 713-01-14, телефон: 7 (812) 251-76-01, e-mail: info@vniim.ru, http://www.vniim.ru

Регистрационный номер аттестата аккредитации RA.RU.311541



СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

№ 210/0918-2016

008505

Действительно до 08 сентября 2017 г.

Средство измерений Радиометр объемной активности радона-222 Alpha-GUARD PQ2000PRO,
наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений

№ в ФИФ 44760-10

(если в состав средства измерений входят несколько автономных измерительных блоков, то приводится их перечень и заводские номера)

серия и номер знака предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)
заводской номер (номера) EF 2179

поверено в соответствии с описанием типа
наименование величин, диапазонов, на которых поверено средство измерений (если предусмотрено методикой поверки)

поверено в соответствии с «Рекомендация. ГСИ. Радиометры объемной активности радона.
наименование документа, на основании которого выполнена поверка
МЕТОДИКА ПОВЕРКИ. МИ 2410-97»

с применением эталонов: Государственного рабочего эталона 2 разряда № 3.1.ZZB.0008.2012,
наименование, тип, заводской номер (регистрационный номер (при наличии),
свидетельство об аттестации № 210-0008/14, действительно до 24.09.2016 г.
разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке

при следующих значениях влияющих факторов: температура воздуха 22,8° С;
приводит перечень влияющих факторов,
атмосферное давление 101,6 кПа; относительная влажность 48,4 %; гамма-фон 0,12 мкЗв/ч
нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений

и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений

Знак поверки



Руководитель отдела 210

Должность руководителя подразделения



Поверитель

Дата поверки 09 сентября 2016 г.

Подпись

Подпись

С.Г. Трофимчук
Инициалы, фамилия

Р.В. Потапов
Инициалы, фамилия

Поверено с применением эталонов:

Государственного рабочего эталона единицы удельной активности радионуклида радий-226 в растворе. Пер. № 3.1.ZZB.0008.2012.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Уровень собственного фона Бк/м³, не более,1.
2. Предел допускаемой основной относительной погрешности измерений
объемной активности радона, %, не более.....±20.

Руководитель отдела 210

Поверитель



С.Г. Трофимчук

Р.В. Потапов

09 сентября 2016 г.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

«ВНИИМ им.Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА»

190005, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19

Факс: 7 (812) 713-01-14, телефон: 7 (812) 251-76-01, e-mail: info@vniim.ru, http://www.vniim.ru



СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

№ 210-1325/15

Действительно до
14 декабря 2016 г.

032310

Средство измерений **Установка спектрометрическая МКС-01А «Мультирад» в комплекте с блоком детектирования БДИГ-150-01А**
регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений **32716-06**

серия и номер знака предыдущей поверки **ГМС 082250401**

заводской номер **014**

поверено в качестве средства измерения активности радионуклидов в счетных образцах, приготовленных из проб окружающей среды.

поверено в соответствии с методикой поверки (приложение А руководства по эксплуатации АЖНС.412131.001-02РЭ)
с применением эталонов: гос. раб. эталона 1 разряда рег. № 3.1.ZZB.0006.2012; ГВЭТ 6-12 рег. № 2.1.ZZB.0145.2015
при следующих значениях влияющих факторов: температура воздуха 22,9° С;
атмосферное давление 101,2 кПа; относительная влажность 45,0 %;
гамма-фон 0,12 мкЗв/ч

и на основании результатов периодической поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений в ограниченном диапазоне измерений

Руководитель отдела 210

Поверитель

Дата поверки
14 декабря 2015 г.



12.15
090973318
С.Г. Трофимчук

Ю.О. Козында

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Рабочий диапазон энергий регистрируемого гамма - излучения – от 40 до 3000 кэВ.
2. Скорость счета от контрольного источника Na-22 № 1334 на 07.12.2015 г. – 460.5 с^{-1} .
3. Интегральная нелинейность энергетической характеристики – не более 1%.
4. Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения активности радионуклидов Cs-137, K-40, Ra-226, Th-232 в счетных образцах – не более 10%.
5. Минимальная измеряемая удельная активность в счетном образце массой 238 г., помещенном в цилиндрический алюминиевый сосуд диаметром 56 мм и высотой 100 мм составляет:

Cs-137 – 3 Бк/кг

K-40 – 80 Бк/кг

Ra-226 – 10 Бк/кг

Th-232 – 12 Бк/кг

Руководитель отдела 210

Поверитель



С.Г. Трофимчук

Ю.О. Козында

14 декабря 2015 г.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ВНИИМ им.Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА"

190005, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19
Факс: 7 (812) 713-01-14, телефон: 7 (812) 251-76-01, e-mail: info@vniim.ru, http://www.vniim.ru



СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

210 - 1197/15
№ _____

Действительно до
«30» ноября 2016 г.

Средство измерений Комплекты аппаратуры для измерения средней объемной активности радона в воздухе трековым методом «ТРЕК-РЭИ-1М»
наименование, тип

Регистрационный номер в Федеральном информационном Фонде по обеспечению единства измерений 59297-14

Серия и номер клейма предыдущей поверки ГМС 079789149

заводской № 26

поверено в качестве средства измерения средней объемной активности радона в воздухе поверено в соответствии с методикой поверки, изложенной в руководстве по эксплуатации ШКТД1.287.001 РЭ

с применением эталонов: государственного рабочего эталона 2 разряда единицы удельной активности радий-226 в растворе в диапазоне от 10^2 до 10^4 Бк/г № 3.1.ZZB.0008.2012, свидетельство об аттестации государственного эталона № 210-0008/14, действительно до 24.09.2016 г.

при следующих значениях влияющих факторов: температура воздуха $24,1^{\circ}\text{C}$; атмосферное давление 99,3 кПа; относительная влажность 45 %; гамма-фон 0,12 мкЗв/ч

и на основании результатов периодической поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодно к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Руководитель отдела 210

С.Г. Трофимчук



Поверитель



Ю.О. Козында

«30» ноября 2015 г.

Метрологические характеристики

1. Уровень собственного фона, трек·см², не более,15.
2. Чувствительность ϵ_0 , см⁻²·Бк⁻¹·сут⁻¹3,5·10⁻².
Относительная погрешность чувствительности (P=0,95).....13.
3. Предел допускаемой относительной погрешности измерений объемной активности радона, %, в диапазоне от 20 до 2000 Бк/м³ не более.....±40.

Руководитель отдела 210



С.Г. Трофимчук

Поверитель



Ю.О. Козында

30 ноября 2015 г.