

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 62–67

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 699.887.3:546.296.-047.44

DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.62-67

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАДОНОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Александр Витальевич Калайдо¹, Владимир Иванович Римшин²,
Мария Николаевна Семенова²

¹ Луганский государственный педагогический университет (ЛГПУ); г. Луганск, Российская Федерация;

² Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН) Минстроя России;
г. Москва, Российская Федерация

Современный человек получает основную дозу облучения в зданиях от продуктов распада радона, поступающих в воздух помещений из грунта и материалов ограждающих конструкций. Горизонтальные подземные ограждающие конструкции зданий постоянно находятся под действием радоновой нагрузки величиной порядка 10^3 – 10^5 Бк/м³, поэтому их конструкция и состояние напрямую определяют качества внутренней воздушной среды. Настоящая работа посвящена аналитической оценке физико-механических характеристик материалов подземных ограждающих конструкций, которые позволят обеспечить благоприятную радоновую ситуацию в малоэтажных зданиях без использования активных технологий радонозащиты. Обоснован доминирующий механизм переноса радона в грунтах и материалах ограждающих конструкций, предложена модель переноса радона в системе «грунт – конструкция пола», из которой могут быть получены минимальные достаточные толщины плит основания, обеспечивающие приемлемое поступление грунтового радона в воздух помещений нижнего этажа. Предложена методика, позволяющая проектировать здания с оптимальной радонозащитной способностью на основе измерения ограниченного количества характеристик грунта с места планируемого строительства.

Ключевые слова: радон, перенос, диффузия, ограждающая конструкция, бетон, здания, сооружения

Для цитирования: Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н. Аналитическая оценка радонозащитных характеристик строительных конструкций зданий и сооружений // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 62–67. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.62-67

ANALYTICAL ASSESSMENT OF RADON PROTECTION CHARACTERISTICS OF BUILDING STRUCTURES BUILDINGS AND STRUCTURES

Alexander V. Kalaydo¹, Vladimir I. Rimshin², Maria N. Semenova²

¹ Lugansk State Pedagogical University (LSPU); Lugansk, Russian Federation;

² Research Institute of Building Physics RAASN (NIISF RAASN) Ministry of Construction of Russia;
Moscow, Russian Federation

Modern people receive the main dose of radiation in buildings from radon progeny which entry into indoor air from the soil and walling materials. Horizontal underground building envelopes are constantly under the radon load influence of the order of 10^3 – 10^5 Bq/m³, therefore their design and condition directly determine the quality of the indoor air environment. In the present study is devoted to an analytical assessment of the physical and mechanical characteristics of underground walling materials, which will ensure a favorable radon situation in low-rise buildings without the use of active radon protection technologies. The mechanism of radon transport in soils and walling materials has been substantiated, and a model of radon transport in the media system “soil – floor structure” has been proposed. This model allows determining minimum sufficient thicknesses of base slabs can be obtained to ensure an acceptable supply of soil radon to the premises of the lower floor. A methodology, which makes it possible to design buildings with optimal radon protective ability and based on measuring a limited number of soil characteristics from the planned construction site, has been proposed.

Keywords: radon, transport, diffusion, building walling, concrete, buildings, structures

For citation: Kalaydo A.V., Rimshin V.I., Semenova M.N. Analytical assessment of radon protection characteristics of building structures buildings and structures. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2024; 4:62-67. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.62-67 (rus.).

Внутренняя среда зданий является основным местом пребывания людей на протяжении жизни, в ней среднестатистический человек проводит не менее 80 % времени. Поэтому для обеспечения

безопасных и комфортных условий жизнедеятельности населения санитарным законодательством устанавливаются требования к целому ряду параметров микроклимата и других физических параметров, оказывающих существенное влияние на здоровье человека.

Одной из нормируемых величин выступает эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в воздухе помещений. По сути ЭРОА — это концентрация продуктов распада радона в воздухе зданий, которая выражена не в единицах массы, а в единицах активности, что существенно упрощает процесс измерений. На данный момент в РФ допустимым считается значение ЭРОА не более 100 Бк/м³ в зданиях, построенных после 1990 г., и не более 200 Бк/м³ — во всех остальных зданиях^{1,2}.

За исключением достаточно редких и экзотических случаев поступление радона в здания осуществляется из двух источников — грунтового основания и материалов ограждающих конструкций зданий [1–3]. При этом распространено убеждение, что существенно преобладает перенос радона из грунта, который обеспечивает до 90 % поступления радона в здание [4–8]. Данное утверждение сложно назвать абсолютно справедливым, поскольку соотношение мощностей источников поступления радона в здание в каждом конкретном случае определяется конструкцией подземной оболочки и физико-механическими характеристиками грунта. Так, в работе [9] убедительно доказано, что для рассматриваемого многоэтажного здания грунтовый радон имеет пренебрежимо малый вклад в формирование ЭРОА из-за большой толщины плиты основания (порядка 1 м). Однако убеждение в существенно доминирующем поступлении радона из грунта имеет достаточные основания для существования — превышение установленных гигиенических нормативов по ЭРОА возможно только при избыточном поступлении грунтового радона.

Большая часть зданий с длительным пребыванием людей в РФ не имеет плит основания толщиной 0,6–1 м, как в работе [9], поскольку представляет частные домостроения или малоэтажные здания, где внутренняя среда отделена от грунтового основания радонозащитным слоем малой толщины, либо такой слой отсутствует вовсе. Именно

такие объекты представляют наибольший интерес для системы радиационной безопасности строительства, которая является единственным средством обеспечения радоновой безопасности зданий на стадии проектирования.

По современным представлениям, за пределами существенно аномальных зон благоприятная радоновая обстановка в здании может быть обеспечена исключительно пассивными радонозащитными технологиями, т.е. без использования систем принудительной вентиляции, радоновых колодцев, искусственных слоев высокой радонопроницаемости и т.д. При этом следует понимать, что выделение радона из материалов ограждающих конструкций практически постоянно и редко выходит за пределы 2–3 мБк/(м²·с), тогда как поступление грунтового радона зависит от целого ряда трудноучитываемых факторов и может изменяться в широких пределах. Именно поэтому стратегия проектирования радонобезопасных зданий направлена на предельное снижение плотности потока именно грунтового радона.

Но процесс переноса радона в системе «грунт – здание» носит многофакторный характер, и для его адекватного аналитического описания необходимо понимание процессов генерации радона, а также механизмов его переноса в грунте и материале подземной оболочки здания [10]. Решение данной задачи не может быть получено исключительно в рамках натурных измерений и требует проведения комплекса лабораторных исследований и численных экспериментов.

Как уже говорилось, величина ЭРОА радона в воздухе помещений нижнего этажа формируется плотностями потока радона (ППР) из материалов ограждающих конструкций и грунтового основания здания. Первая составляющая $q_{огр}$ не испытывает значимых вариаций и редко превышает 3 мБк/(м²·с), тогда как вторая $q_{гр}$ способна изменяться в широких пределах, поскольку зависит от свойств грунтового основания, а также конструкции и состояния подземной оболочки здания [11]:

$$q_{гр} = \frac{\Delta A}{R_{min}}, \quad (1)$$

где ΔA — радоновая нагрузка на основание здания, представляющая собой разность объемных активностей радона на внешней и внутренней поверхностях плиты основания, Бк/м³; R_{min} — минимальное сопротивление радонопроницанию конструкции пола, при котором будет обеспечено допустимое значение ЭРОА в помещении, с/м.

Таким образом, задача обеспечения радоновой безопасности конкретного здания на стадии проектирования сводится к определению радоновой нагрузки ΔA на его подземную оболочку, расчета

¹ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) : Ионизирующее излучение, радиационная безопасность (СП 2.6.1.2523–09) : зарегистрирован 14 августа 2009 г. Регистрационный № 14534. М. : Минюст России, 2009. 225 с.

² Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) : Ионизирующее излучение, радиационная безопасность (СП 2.6.1.2612–10) : зарегистрирован 11 августа 2010 г. Регистрационный № 18115. М. : Минюст России, 2010. 98 с.

предельного значения ППР радона из грунта, при котором (совместно с $q_{\text{огр}}$) не будет нарушен гигиенический норматив, вычисления минимального достаточного сопротивления радонопроницанию R_{min} конструкции пола и последующего перехода от абстрактной величины R_{min} к размерам реальной железобетонной плиты основания.

Радоновая нагрузка на подземную оболочку здания будет зависеть от мощности источника его образования в грунте и интенсивности (т.е. механизма) переноса к дневной поверхности.

Скорость генерации радона G в пористой среде определяется в первую очередь содержанием в ней радия C_{Ra} и плотностью самой среды $\rho_{\text{гр}}$, поскольку радон образуется только в твердой фазе. Любой грунт в том или ином количестве содержит уран, а значит и материнский радий-226, но не все атомы радона, образовавшиеся в процессе распада, смогут участвовать в дальнейшем переносе к дневной поверхности, поскольку вследствие эффекта отдачи часть из них окажется захвачена кристаллической решеткой минерала. Последним фактором, определяющим мощность источника радона, является постоянная распада λ , характеризующая число актов деления в единицу времени. Окончательно для скорости генерации радона в пористой среде получаем:

$$G_{\text{гр}} = C_{\text{Ra}} \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot k_{\text{эм}} \cdot \lambda, \quad (2)$$

где C_{Ra} — удельная активность радия в грунте, Бк/кг; $k_{\text{эм}}$ — коэффициент эманирования радона грунтом, характеризующий долю образовавшихся атомов радона, способных к дальнейшей миграции в пористой среде.

От скорости образования радона легко можно перейти к его максимальной объемной активности в грунте A_{max} , используя соотношение:

$$A_{\text{max}} = \frac{G}{\lambda} = C_{\text{Ra}} \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot k_{\text{эм}}. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет качественно оценить значение A_{max} (табл.), хотя следует иметь в виду, что даже в пределах геологически однородной территории характеристики грунта могут существенно изменяться.

Для грунтов максимальная объемная активность достигается на глубине менее 10 м и, как видно из таблицы, при определенных условиях интенсив-

Средние значения объемной активности радона для некоторых пористых сред

Среда	C_{Ra} , Бк/кг	ρ , кг/м ³	$k_{\text{эм}}$	A_{max} , Бк/м ³
Глина	30	1990	0,40	23 880
Песок	10	1700	0,35	5950
Бетон	20	2200	0,25	11 000

ность образования радона в материале подземной ограждающей конструкции может быть выше, чем в грунте.

После образования радон за счет конвекции или диффузии переносится по направлению к дневной поверхности. При этом количество радона, которое достигнет подземных ограждающих конструкций, существенно зависит от доминирующего механизма его переноса в пористой среде.

Конвективный перенос способен обеспечивать достаточно большие плотности потока радона из-за высокой скорости движения почвенного газа, он вызывается градиентом давлений на границах пористой среды, величина которого не превышает 2 Па/м [11]. Плотность конвективного потока определяется по закону Дарси:

$$q_{\text{кон}} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \cdot A, \quad (4)$$

где k — воздухопроницаемость грунта, м²; $\mu = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Па·с — динамическая вязкость почвенного газа; P — давление воздуха, Па.

Плотность конвективного потока радона в пористых средах может изменяться в очень широких пределах, что вызвано большим размахом их воздухопроницаемостей: от 10^{-9} м² для грубых песков до 10^{-14} м² для плотных глин и 10^{-16} м² — для бетонов.

Диффузионный перенос радона вызывается разностью его активностей на границах грунтового массива, представляя собой достаточно медленный и практически стационарный процесс. Плотность диффузионного потока определяется по закону Фика:

$$q_{\text{диф}} = D \cdot \frac{\partial A}{\partial z}, \quad (5)$$

где D — эффективный коэффициент диффузии радона в слое среды, м²/с.

Диапазон значений эффективного коэффициента диффузии радона в грунтах и строительных материалах существенно меньше, чем у воздухопроницаемости [12], поэтому и плотность диффузионного потока изменяется в куда меньших пределах.

С целью обоснования доминирующего характера переноса радона в грунтах и материалах ограждающих конструкций выполнен расчет вклада каждой из составляющих при различных характеристиках пористой среды (рис. 1). В процессе расчетов эффективный коэффициент диффузии принимался равным $D = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м²/с, а градиент давления $\partial P / \partial z = 1,0$ Па/м, что соответствует типичным условиям переноса [13].

Как видно из рис. 1, конвективный поток начинает вносить значимый вклад в процесс переноса

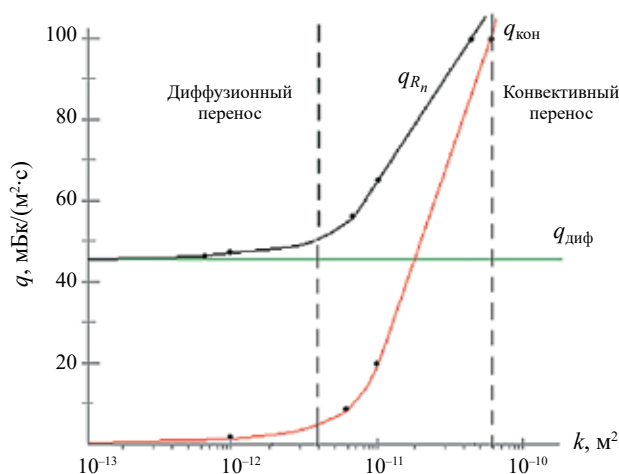


Рис. 1. Сравнение вкладов различных механизмов переноса в общий поток радона: $q_{\text{диф}}$ — плотность диффузионного потока; $q_{\text{кон}}$ — плотность конвективного потока; q_{Rn} — суммарная плотность потока радона

при проницаемости среды около $5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$, а при проницаемости $(3 \dots 5) \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$ он становится доминирующим. Однако все глинистые грунты имеют воздухопроницаемость не более 10^{-14} м^2 , поэтому есть все основания принять предположение о диффузионном характере переноса радона в грунтовом массиве и материалах ограждающих конструкций.

Диффузионный перенос протекает с достаточно малыми скоростями, и часть радона в процессе движения к подземным ограждающим конструкциям зданий испытывает распад, вследствие чего объемная активность радона на внешней поверхности плиты основания будет на 10–15 % меньше A_{max} . На внутренней поверхности плиты, т.е. в помещении, ЭРОА радона составляет единицы — десятки Бк/м³, что на 2–3 порядка меньше. Поэтому с достаточной точностью для радоновой нагрузки на подземную оболочку здания можно принять:

$$\Delta A = A_{\text{max}} \cdot \quad (6)$$

Условие (6) позволяет существенно упростить процесс определения плотности потока радона, поступающего в помещение из грунта, исключив уравнение для грунтового массива и ограничившись однослойной конструкцией (плитой основания). Дифференциальное уравнение диффузионного переноса радона в материале ограждающей конструкции имеет вид [14]:

$$D \cdot \frac{d^2 A}{dz^2} - A(z) \cdot \lambda + C_{Ra} \cdot \rho \cdot k_{\text{эм}} \cdot \lambda = 0; \quad 0 \leq z \leq h, \quad (7)$$

где второе слагаемое представляет собой радиоактивный распад, а третье — образование радона.

Учет свойств грунтового основания производится начальным условием:

$$\begin{aligned} q(0) = q_0 = G \cdot L = C_{Ra} \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot k_{\text{эм}} \cdot \sqrt{\frac{D}{\lambda}} \cdot \lambda = \\ = C_{Ra} \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot k_{\text{эм}} \cdot \sqrt{D \cdot \lambda}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $L = (D/\lambda)^{1/2}$ — длина диффузии радона в грунте под зданием, м.

Решение дифференциального уравнения (7) с указанными начальными условиями для плотности потока радона имеет вид:

$$q(z) = q_{\text{гр}} = q_0 \cdot \frac{ch\left(\frac{h-z}{L}\right)}{ch\left(\frac{h}{L}\right)} + \frac{C_{Ra} \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot k_{\text{эм}} \cdot D}{L} \cdot \frac{sh\left(\frac{z}{L}\right)}{ch\left(\frac{h}{L}\right)}. \quad (9)$$

В правой части (9) при значении $z = h$ первое слагаемое представляет часть потока грунтового радона, которая проникает через подземную горизонтальную ограждающую конструкцию, а второе слагаемое — это плотность потока, обусловленного действием источников радона внутри плиты основания.

Таким образом, выражение (9) позволяет определить плотность потока радона в здание через конструкцию пола. Величина ЭРОА радона, формируемая потоками из грунта и материалов ограждающих конструкций, будет зависеть от геометрических размеров конкретного помещения, а переход от ППР к ЭРОА осуществляется по формуле:

$$\text{ЭРОА} = \frac{q_{\text{гр}} \cdot S_{\text{осн}} + q_{\text{огр}} \cdot S_{\text{огр}}}{V \cdot (\lambda + n)} \cdot F, \quad (10)$$

где $S_{\text{осн}}$ — площадь плиты основания, м²; $S_{\text{огр}}$ — площадь вертикальных ограждающих конструкций, м²; V — объем помещения, м³; n — кратность воздухообмена в помещении, с⁻¹; $F \approx 0,4$ — коэффициент сдвига радиоактивного равновесия.

Также представляет интерес определение отношения m плотности проникающего через слой потока $q_{\text{пр}}$ (первое слагаемое в (9)) к плотности

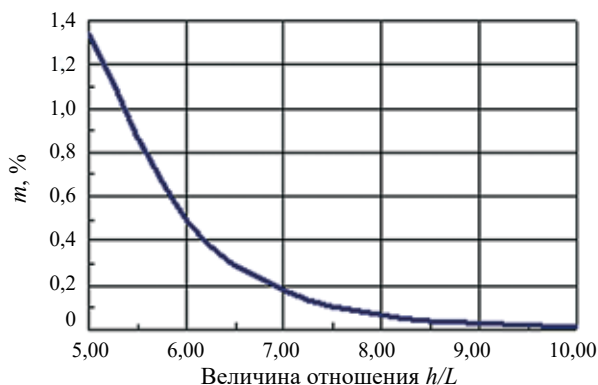


Рис. 2. Доля потока радона, проникающего через слой материала

поступающего в слой потока q_0 , которое вычисляется по формуле:

$$m = \frac{1}{ch\left(\frac{h}{L}\right)} \cdot 100 \% \quad (11)$$

При значениях $h/L > 6$ через слой проникает не более 0,5 % входящего в него потока (рис. 2). Данное значение h/L соответствует слою гравия толщиной 11 м или гидроизоляционному материалу толщиной 4 мм или тяжелому бетону толщиной 600 мм (случаи равного сопротивления радонопроницанию).

Предложенная методика позволяет с достаточной точностью прогнозировать уровни радона в помещениях возводимого здания после введения его в эксплуатацию. Помимо этого, при обратном ходе предложенного алгоритма он может быть использован для проектирования радонобезопасных зданий с наперед заданным значением ЭРОА в воздухе помещений. Для этого необходимо:

1. В формуле (9) задать приемлемое значение ЭРОА (например, 40 Бк/м³ — для помещений лечебных и дошкольных учреждений и 40 Бк/м³ — для других помещений с длительным пребыванием людей), и, подставив геометрические размеры помещения и $q_{\text{огр}} = 2 \dots 3$ мБк/(м²·с), определить значение

ППР из грунта, при котором не будет превышена данная ЭРОА.

2. По результатам радиационно-экологических изысканий определить радоновую нагрузку на подземную оболочку здания, используя формулу (3).

3. Определить минимальное достаточное сопротивление радонопроницанию R конструкции пола из формулы (1).

4. Перейти от сопротивления радонопроницанию к толщине плиты основания, используя соотношение:

$$R = \frac{1}{\sqrt{D \cdot \lambda}} \cdot sh\left(h \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D}}\right).$$

По результатам исследования можно заключить, что в настоящее время остается нерешенной проблема адекватной оценки радоноопасности участка планируемого строительства, поскольку используемая в качестве критерия величина ППР с поверхности грунта неинформативна и крайне вариабельна. Предложенный в данной работе подход позволяет определять оптимальные радонозащитные характеристики конструкции пола на основании измерения слабо изменяющихся физико-механических характеристик грунта (удельная активность радия, плотность и др.), что позволит избежать введения в эксплуатацию зданий с недостаточной или существенно избыточной радонозащитной способностью.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кормановская Т.А. Дозы природного облучения населения Сибирского федерального округа // Вести МАНЭБ в Омской области. 2013. № 3. С. 13–16. EDN TEXBLV.
2. Бакаева Н.В., Калайдо А.В. Экспериментальные исследования факторов, формирующих радиационный фон зданий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. № 4 (12). С. 20–27.
3. Ахременко С.А., Полехина С.В., Шерстюк Е.А. Современные способы противорадовой защиты // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. № 4. С. 66–72.
4. Ярмошенко И.В. Радон как фактор облучения населения России // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 2 (18). С. 108–116. EDN YUDIII.
5. Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Борщ В.А. Строительные технологии обеспечения радонобезопасности зданий // Строительные материалы. 2023. № 6 (814). С. 33–38. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-814-6-33-38
6. Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Быков Г.С. Радиоактивные изотопы в воздухе рабочей зоны производственных зданий и сооружений // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 1 (58). С. 86–95.
7. Сидельникова О.П. Радиационно-экологическая безопасность строительных материалов, производимых в Волгоградской области // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. № 44–2 (63). С. 43–51. EDN WFWZGP.
8. Гулябниц Л.А. Пособие по проектированию противорадовой защиты жилых и общественных зданий. М.: ФЭН-НАУКА, 2013. 52 с.
9. Telichenko V., Rimshin V., Kalaydo A., Semenova M. Prediction of the Radon Situation in Buildings Constructed Under the Renovation Program // E3S Web of Conferences FCI-2023. 2023. No. 457 (3). 10 p. DOI: 10.1051/e3sconf/202345702041
10. Гулябниц Л.А., Калайдо А.В. Противорадовая защита жилых и общественных зданий : монография / под ред. И.Л. Шубина. М.; Берлин : Директ-Медиа. 2020. 236 с.

11. *Kojima H., Nagano K.* Dependence of barometric pressure, wind velocity and temperature on the variation of radon exhalation // Proceedings of the 2000 International Radon Symposium. Milwaukee, USA. 2000. Pp. 7.1–7.9.
12. *Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Никитин А.А., Молчанова А.Е.* Радиационные риски на предприятиях текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 4 (406). С. 185–191. DOI: 10.47367/0021-3497_2023_4_185
13. *Калайдо А.В., Римшин В.И., Сулейманова Л.А., Никитин А.А.* Оценка мощности источников поступления радона в воздух зданий различной конструкции в течение их жизненного цикла // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/41SAVN523.pdf>
14. *Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Давыскиба О.В.* Расчет подземных ограждающих конструкций по критериям радоновой безопасности здания // Жилищное строительство. 2023. № 7. С. 40–46. DOI: 10.31659/0044-4472-2023-7-40-46

Об авторах: **Александр Витальевич Калайдо** — кандидат технических наук, доцент, кандидат кафедры технологий производства и профессионального образования; **Луганский государственный педагогический университет (ЛГПУ)**; 291011, г. Луганск, ул. Оборонная, д. 2; SPIN-код: 5589-2126; e-mail: kalaydo18@mail.ru;

Владимир Иванович Римшин — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией мониторинга жилищно-коммунального хозяйства и радиационной безопасности в строительстве; **Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН) Минстроя России**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21; SPIN-код: 9629-5322; e-mail: v.rimshin@niisf.ru;

Мария Николаевна Семенова — ведущий инженер лаборатории мониторинга жилищно-коммунального хозяйства и радиационной безопасности в строительстве; **Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (НИИСФ РААСН) Минстроя России**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр., д. 21; e-mail: lor267gg@yandex.ru.

About the authors: **Alexander V. Kalaydo** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Candidate of the Department of Production Technologies and Vocational Education; **Lugansk State Pedagogical University (LSPU)**; 2 Oboronnaya st., Lugansk, 291011, Russian Federation; SPIN-code: 5589-2126; e-mail: kalaydo18@mail.ru;

Vladimir I. Rimshin — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory for Monitoring Housing and Communal Services and Radiation Safety in Construction; **Research Institute of Building Physics RAASN (NIISF RAASN) Ministry of Construction of Russia**; 21 Lokomotivny pr., Moscow, 127238, Russian Federation; SPIN-code: 9629-5322; e-mail: v.rimshin@niisf.ru;

Maria N. Semenova — Leading Engineer of the Laboratory for Monitoring Housing and Communal Services and Radiation Safety in Construction; **Research Institute of Building Physics RAASN (NIISF RAASN) Ministry of Construction of Russia**; 21 Lokomotivny pr., Moscow, 127238, Russian Federation; e-mail: lor267gg@yandex.ru.