

ПАССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДОНОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

А. В. Калайдо¹, В. И. Римшин², М. Н. Семенова², Г. С. Быков³

¹Луганский государственный педагогический университет (г. Луганск),

²Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (г. Москва),

³Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (г. Саранск)

Статья посвящена проблеме обеспечения радоновой безопасности воздушной среды проектируемых зданий. Тема эта весьма актуальна, так как длительное пребывание в помещениях с высокими уровнями радона, по мнению специалистов, наносит немалый вред здоровью людей.

Современный человек, находясь в зданиях, большую часть индивидуальной годовой дозы облучения получает от радона и его дочерних продуктов распада. Основным источником поступления радона в помещения нижнего этажа строительного объекта является подстилающий грунт, а сам процесс переноса носит диффузионный или конвективный характер в зависимости от сочетания характеристик грунта и подземных ограждающих конструкций. Поток радона из грунта может быть ограничен до условно безопасной величины рациональной конструкцией фундамента, поэтому радоновая безопасность зданий должна закладываться на стадии их проектирования.

Однако в связи со сложностью процесса поступления, накопления радона и его дочерних продуктов распада в помещениях в настоящее время не выработано единого подхода к обеспечению радонобезопасности сооружений. Обобщив зарубежный и отечественный опыт исследований в этом направлении, авторы показывают, что свои достоинства и недостатки имеют как активные, так и пассивные технологии радонозащиты, и предлагают подход к обеспечению приемлемых уровней радона во внутреннем воздухе проектируемых зданий при использовании исключительно пассивных технологий ограничения поступления почвенного радона.

Ключевые слова: радон; дочерние продукты распада; процесс переноса; радоновая безопасность зданий; технологии радонозащиты.

Введение. Радон-222 – благородный радиоактивный газ с периодом полураспада 3,8 дня, способный поступать в здания извне и накапливаться во внутреннем воздухе в опасных концентрациях. Длительное пребывание в помещениях с высокими уровнями радона может стать причиной возникновения в будущем рака легкого [1-2], вероятность которого увеличивается на 10-18 % на каждые 100 Бк/м³ объемной активности радона [3].

Цели и задачи исследования. Процесс накопления радона в зданиях является многофакторным, на его характер влияют геофизи-

ческие характеристики грунта под зданием, особенности конструкции и эксплуатации строительного объекта и т.д. Вследствие этого уровни радона даже в близкорасположенных зданиях могут отличаться в десятки-сотни раз. Для их количественной оценки в России и постсоветских государствах используется эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) продуктов распада радона, а в странах дальнего зарубежья – объемная активность (ОА) радона. Взаимосвязь между данными характеристиками может быть выражена следующим соотношением:

$$OA \approx 2,5 \cdot ЭРОА. \quad (1)$$

Ввиду общегосударственного масштаба радоновой проблемы в большинстве стран мира установлены *предельно допустимые значения концентрации радона в быту*. В России действует двухуровневый норматив, составляющий 200 Бк/м³ для существующих зданий и 100 Бк/м³ для строящихся и возведенных по современным технологиям [4-5]. В США национальный уровень действия равен 150 Бк/м³ (в единицах *ОА*) [6]. Всемирной организацией здравоохранения предложена эталонная объемная активность радона в зданиях не более 100 Бк/м³, а при ее превышении рекомендуется проведение мероприятий по нормализации радоновой обстановки [7].

Технологии защиты зданий и сооружений от радона делятся на две группы – пассивные и активные.

Активные технологии состоят в удалении радона из здания или грунта под ним при помощи систем вентиляции, а *пассивные* не потребляют энергии и основаны на ограничении поступления радона до приемлемого уровня непосредственно ограждающими конструкциями зданий или другими строительными технологиями.

В настоящее время в мире не выработано единого подхода к обеспечению радоновой безопасности зданий, что объясняется сложностью процесса поступления, накопления радона и его дочерних продуктов распада в помещениях.

Радон не образуется в воздухе помещений, он поступает туда из грунта под зданием. В силу variability свойств грунтового основания, разнообразия конструкций подземной оболочки современных зданий и широкого диапазона изменения их защитных характеристик поступление радона в здание может носить *диффузионный, конвективный* или *конвективно-диффузионный* характер. При этом каждый из механизмов переноса почвенного газа требует реализации собственного комплекса радонозащитных мероприятий.

- *Конвективный поток* радона управля-

ется температурно-индуцированным градиентом давлений на внешних границах фундамента, величина этого градиента редко превышает 2 Па/м. Плотность конвективного потока почвенного газа определяется из закона Дарси

$$q_{кон} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \cdot A, \quad (2)$$

где k – воздухопроницаемость грунта, м²; μ – динамическая вязкость почвенного газа, Па·с; P – давление воздуха, Па; A – объемная активность радона в потоке почвенного воздуха, Бк/м³.

Плотность конвективного потока радона может изменяться в очень широких пределах, что вызвано большим размахом вариаций воздухопроницаемости пористых сред (грунтов и строительных материалов) – от 10⁻⁹ м² для грубых песков до 10⁻¹⁴ м² для плотных глин и до 10⁻¹⁶ м² для бетонов.

- *Диффузионный поток* радона из грунта в здание остается практически постоянным, он не зависит от перепада давлений и воздухопроницаемости среды переноса, а вызывается разностью активностей радона в почвенном газе и воздухе помещения. Плотность диффузионного потока определяется из закона Фика

$$q_{диф} = D_{эф} \cdot \frac{\partial A}{\partial z}, \quad (3)$$

где $D_{эф}$ – эффективный коэффициент диффузии радона в слое среды, м²/с.

Диапазон изменений коэффициента диффузии радона в грунтах и строительных материалах существенно меньше, чем у воздухопроницаемости (не более двух порядков), поэтому величина диффузионного потока намного слабее зависит от физико-механических свойств грунта.

Установление доминирующего механизма переноса является ключевым элементом при разработке стратегии обеспечения радоновой безопасности объектов строительства. Так, эффективным средством борьбы с конвективным переносом радона является изоляция

внутреннего объема помещений от грунтового воздуха. Однако данный подход не дает результатов при диффузионном поступлении радона, когда необходимо использование в конструкции пола материалов с низким коэффициентом диффузии радона в них.

На протяжении 30 лет в США проводились интенсивные исследования, посвященные установлению доминирующего механизма переноса радона в здания. По их результатам Агентством по охране окружающей среды

(US EPA) было заявлено, что поступление радона в помещения носит конвективный характер, а радоновая безопасность здания может быть гарантирована лишь в случае применения технологии активного разрежения почвы. Суть данной технологии состоит в создании благоприятных условий для накопления радона под фундаментом (всасывающая яма, слой высокопроницаемого дренажа) с последующим удалением его средствами механической вентиляции (рис. 1).

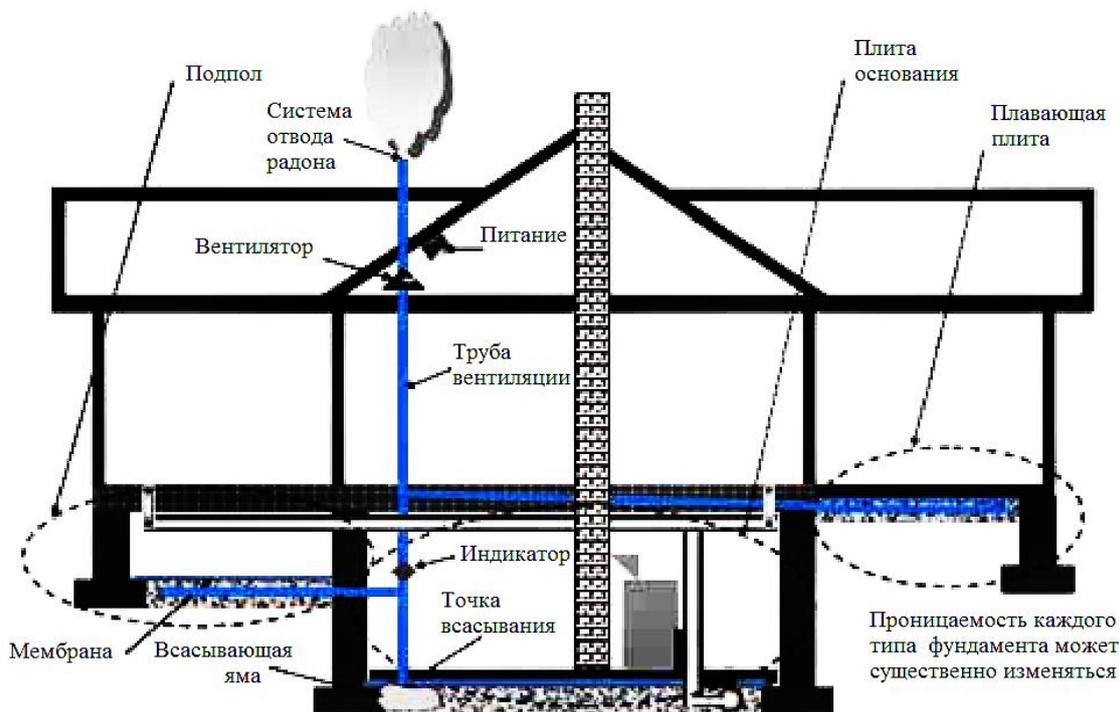


Рисунок 1. Система активного разрежения грунта

Однако положение о полном доминировании конвективного переноса не является общепризнанным даже среди американских исследователей. В России утвердилась точка зрения, что радоновая безопасность зданий в большинстве случаев может быть обеспечена за счет рационального проектирования горизонтальных подземных ограждающих конструкций зданий, а необходимость удаления радона из внутреннего воздуха указывает на ошибки в проектировании подземной оболочки здания. Не случайно поэтому практический интерес представляет сопоставление вкладов диффузии и конвекции в перенос радона из

грунта в воздух помещений нижнего этажа.

На рисунке 2 показан результат расчета плотностей диффузионного и конвективного потоков радона в зависимости от воздухопроницаемости конструкции пола. При определении плотности диффузионного потока радона эффективный коэффициент диффузии принимался равным $D_{эф} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, а расчет плотности конвективного потока выполнялся для значения градиента давления $\partial P/\partial z = 1,0 \text{ Па/м}$.

Максимальная объемная активность радона в почвенном воздухе A_{max} принималась равной радоновой нагрузке на фундамент и вычислялась по следующей формуле:

$$A_{\max} = C_{Ra} \cdot \rho_z \cdot k_{эм} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}, \quad (4)$$

где C_{Ra} – удельная активность радия в грунте, Бк/кг; $\rho_z = 2700 \text{ кг/м}^3$ – плотность твердой фазы (зерен) грунта, $k_{эм}$ – коэффициент эманирования радона грунтом; $\varepsilon = 0,2 \dots 0,5$ – пористость грунта.

Для среднемирового значения удельной активности радия в грунте 30 Бк/кг при коэффициенте эманирования $k_{эм} = 0,3$ и пористости $\varepsilon = 0,4$ активность радона в почвенном воздухе составила $A_{\max} = 36500 \text{ Бк/м}^3$.

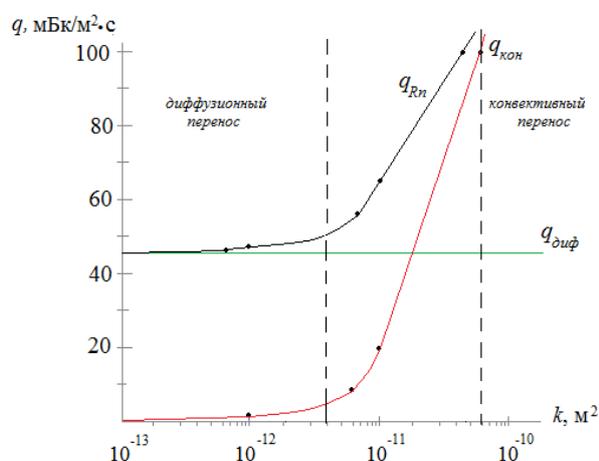


Рисунок 2. Зависимость плотностей потока радона из грунта в здание от проницаемости конструкции

пола: $q_{диф}$ – плотность диффузионного потока; $q_{кон}$ – плотность конвективного потока; q_{Rn} – суммарная плотность потока радона

Как видно на рисунке 2, конвективный поток начинает играть значимую роль в по-

ступлении радона в здание при проницаемостях подземной оболочки зданий $(3 \div 5) \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$, а при проницаемостях $(3 \div 5) \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$ он становится доминирующим. Поэтому обязательным (но не достаточным) требованием к обеспечению радоновой безопасности помещений нижнего этажа является отсутствие конвективного переноса радона из грунта, что обеспечивается при воздухопроницаемости фундамента не более 10^{-12} м^2 .

Результаты исследования. После исключения конвективной составляющей, в условиях чисто диффузионного переноса радона в здание его радоновая безопасность может быть обеспечена применением исключительно пассивных защитных технологий. Для этого на стадии проектирования необходимо:

1. Задать приемлемое содержание радона в воздухе помещений ЭРОА_{тр} после введения здания в эксплуатацию и определить из него предельное допустимое значение плотности потока радона через горизонтальные подземные конструкции, представленное в таблице 1 и вычисленное по формуле

$$q_{Rn} = \frac{\text{ЭРОА}_{mp} \cdot (\lambda + n) \cdot h}{F}, \quad (5)$$

где $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ – постоянная распада радона; n – кратность воздухообмена в помещении, с^{-1} ; h – высота помещения, м; F – коэффициент сдвига радиоактивного равновесия между радоном и его дочерними продуктами распада.

Таблица 1

Плотность потока радона из грунта в здание (при $F = 0,4$)

Параметры внутреннего воздуха	Плотность потока радона q , мБк/(м ² ·с)			
	$n = 0,05 \text{ ч}^{-1}$	$n = 0,1 \text{ ч}^{-1}$	$n = 0,2 \text{ ч}^{-1}$	$n = 0,4 \text{ ч}^{-1}$
ЭРОА _{тр} = 40 Бк/м ³	2,0	3,9	8,1	18,3
ЭРОА _{тр} = 80 Бк/м ³	4,0	7,8	16,2	36,6
ЭРОА _{тр} = 200 Бк/м ³	10,0	19,5	40,5	91,5

2. Вычислить минимальное достаточное сопротивление радонопроницанию конструкции пола по следующей формуле:

$$R_{\min} = \frac{A_{\max}}{q_{диф}}. \quad (6)$$

Для обеспечения ЭРОА = 40 Бк/м³ (оптимальное значение для образовательных и лечебных учреждений) в воздухе помещений нижнего этажа при нормальном воздухообмене ($n = 0,4 \text{ ч}^{-1}$) достаточное сопротивление радонопроницанию конструкции пола

$$R_{\min} = \frac{36500}{18,3 \cdot 10^{-3}} = 1,99 \cdot 10^6 \text{ с/м.}$$

3. Проверить возможность обеспечения

$$R = \frac{1}{\sqrt{\lambda \cdot D_{\delta}}} \cdot sh \left(H \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_{\delta}}} \right) \rightarrow H_{\min} = \sqrt{\frac{D_{\delta}}{\lambda}} \cdot arcsch \left(R_{\min} \cdot \sqrt{\lambda \cdot D_{\delta}} \right). \quad (7)$$

$$H_{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 10^{-7}}{2,1 \cdot 10^{-6}}} \cdot arcsch \left(1,99 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{1,1 \cdot 10^{-7} \cdot 2,1 \cdot 10^{-6}} \right) = 0,154 \text{ м.}$$

4. Если требуемая толщина плиты основания существенно превышает размеры, необходимые для обеспечения основных несущих функций, то в конструкцию пола должен быть введен второй слой с более высоким сопротивлением радонопроницанию, которым чаще всего выступает гидрогазоизолирующий полимерный материал толщиной 2...3 мм с коэффициентом диффузии радона $1 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$.

Для двухслойной конструкции общее сопротивление радонопроницанию выражается формулой [9]

$$R_{\Sigma} \approx R_1 + R_2 = \sum_{i=1}^2 \frac{1}{\sqrt{\lambda \cdot D_i}} \cdot sh \left(H_i \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_i}} \right), \quad (8)$$

где $i = 1, 2$ – номер защитного слоя в конструкции пола.

данного сопротивления радонопроницанию одним слоем бетона (плита основания). Сопротивление радонопроницанию слоя однородного материала определяется по формуле

Минимальная требуемая толщина бетонной плиты при наличии мембраны определяется из (8) аналогично случаю однослойной конструкции.

Выводы. Проведенные исследования дают основания полагать, что приемлемые уровни радона в зданиях могут быть обеспечены посредством исключительно пассивных радонозащитных технологий. При этом для устранения конвективного поступления радона из грунта подземная оболочка здания должна иметь достаточно низкую воздухопроницаемость (не более 10^{-12} м^2), а диффузионный поток – ограничиваться использованием в конструкции пола слоев с высоким сопротивлением радонопроницанию, таких как бетон и полимерные пленочные материалы.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы 2020 года Российской академии архитектуры и строительных наук по теме: 7.4.10 – Теоретическое исследование накопления радона в помещениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ICRP Publication 115. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon / ed. С.Н. Clement // Annals of the ICRP. 2010. Vol. 40 (1). 64 p.
2. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия / И.К. Романович, И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, Д.В. Кононенко и др.; под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой. Санкт-Петербург: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. 432 с.
3. Petersell V., Akerblom G., Ek B-M., Enel M., Mottus V., Täht K. Radon risk map of Estonia. Explanatory text to the Radon Risk Map Set of Estonia at scale of 1:500 000. SSI Report 2005:16. Tallinn – Stockholm, 2005. 76 p.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): (Ионизирующее излучение, радиационная безопасность СП 2.6.1.2523-09): зарегистрирован 14 августа 2009 г. Регистрационный № 1453. Москва: Минюст России, 2009. 225 с.
5. 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. Москва: Минюст России, 2010. 98 с.
6. US Reducing Radon in New Construction of 1 and 2 Family Dwellings and Townhouses (ССАН 2020). AARST Consortium on national radon standards. 33 p.

7. World Health Organization. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. WHO, Geneva, 2009. 94 p.
8. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Остаточный ресурс силового сопротивления поврежденного железобетона // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2005. № 9. С. 119.
9. Элементы теории реконструкции железобетона / В.М. Бондаренко, А.В. Боровских, С.В. Марков, В.И. Римшин. Москва, 2002.
10. Курбатов В.Л., Римшин В.И., Шумилова Е.Ю. Контроль и надзор в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве. Минеральные Воды, 2016.
11. Особенности функционирования фреонового контура малоэтажного здания с воздушным тепловым насосом в отопительный период / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, В. Е. Шебашев, И. А. Зайцева, В. Г. Котлов, В. А. Емелин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 4(12). С. 142-150.

Информация об авторах

КАЛАЙДО Александр Витальевич – кандидат технических наук, доцент, Луганский государственный педагогический университет. Область научных интересов – теория и проектирование радоновой защиты жилых и общественных зданий. Автор 80 опубликованных работ. E-mail: kalaydo@mail.ru

РИМШИН Владимир Иванович – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, руководитель Института развития города НИИСФ РААСН, профессор кафедры жилищно-коммунального комплекса НИУ Московского государственного строительного университета, г. Москва. Область научных интересов – силовое сопротивление строительных конструкций, подверженных деградационным повреждениям (силовая и средовая составляющая), диссипативная теория силового сопротивления железобетона, общая теория деградации. Автор 525 научных и учебных работ, в том числе 45 учебников и учебных пособий с грифом Минобрнауки; в WOS, Scopus – 72. E-mail: v.rimshin@niisf.ru

СЕМЕНОВА Мария Николаевна – ведущий инженер НИИСФ РААСН, г. Москва. Область научных интересов – теория и проектирование радоновой защиты жилых и общественных зданий. Автор 5 опубликованных работ. E-mail: lor267gg@yandex.ru

БЫКОВ Григорий Сергеевич – магистрант НИУ Мордовского государственного университета им. Н.П.Огарева. Область научных интересов – теория и проектирование радоновой защиты жилых и общественных зданий. Автор 3 опубликованных работ. E-mail: admin.nex@gmail.ru

UDK 699.887

DOI: 10.25686/2542-114X.2021.1.28

PASSIVE TECHNOLOGIES FOR ENSURING RADON SAFETY OF THE INDOOR AIR ENVIRONMENT IN DESIGNED BUILDINGS

A. V. Kalaido¹, V. I. Rimshin², M. N. Semenova², G. S. Bykov³

¹Lugansk State Pedagogical University (Lugansk),

²Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (Moscow),

³National Research Ogarev Mordovia State University (Saransk)

The article considers the problem of ensuring radon safety of the indoor air environment in designed buildings. The relevance of the topic is more critical than ever. Especially since long-term staying in rooms with high levels of radon, according to experts, causes considerable harm to human health.

Staying inside the buildings, people nowadays receive most of individual annual radiation doses from radon and its daughter decay products. The main source of radon penetrating the

premises of the lower floor of a construction object is the underlying soil, and the transfer process itself is diffusive or convective, depending on the combination of the characteristics of the soil and underground enclosing structures. The flow of radon from the ground can be limited to a relatively safe value by the rational design of the foundation, so the radon safety of buildings should be laid at the design stage.

However, due to the complexity of the process of postulation, accumulation of radon and its daughter decay products in the premises, a single approach to ensuring radon safety of structures has not been developed yet. Having summarized national and international research outcomes carried out in this subject area the authors proved that both active and passive radon protection technologies have their advantages and disadvantages, and offer their own approach to ensuring acceptable levels of radon of indoor environment in designed buildings when using exclusively passive technologies to limit the intake of soil radon.

Keywords: radon; daughter decay products; transfer process; radon safety of buildings; radon protection technologies.

REFERENCES

1. ICRP Publication 115. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon, ed. C.H. Clement, *Annals of the ICRP*, 2010, Vol. 40 (1), 64 p.
2. Romanovich I.K., Stamat I.P., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V. et al. Prirodnye istochniki ioniziruyushchego izlucheniya: dozy oblucheniya, radiacionnye riski, profilakticheskie meropriyatiya [Natural sources of ionizing radiation: radiation doses, radiation risks, preventive measures], FBUN NIIRG im. P.V. Ramzaeva; edited by G.G. Onishchenko, A.Iu. Popovoy, Sankt-Peterburg: FBUN NIIRG im. P.V. Ramzaeva, 2018, 432 p.
3. Petersell V., Akerblom G., Ek B.-M., Enel M., Mottus V., Täht K. Radon risk map of Estonia. Explanatory text to the Radon Risk Map Set of Estonia at scale of 1:500 000. SSI Report 2005:16. Tallinn – Stockholm, 2005, 76 p.
4. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009): (Ioniziruyushchee izluchenie, radiacionnaya bezopasnost' SP 2.6.1.2523-09): zaregistririvan 14 avgusta 2009 g. Registracionnyj No 1453 [Radiation safety standards (NRB-99/2009): (Ionizing radiation, radiation safety SP 2.6.1.2523-09): registered on August 14, 2009 Registration number 1453], Moscow: Minyust Rossii, 2009, 225 p.
5. Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiacionnoj bezopasnosti (OSPORB-99/2010): (Ioniziruyushchee izluchenie, radiacionnaya bezopasnost' SP 2.6.1. 2612-10): zaregistririvan 11 avgusta 2010 g. Registracionnyj No 18115 [Basic sanitary rules for ensuring radiation safety (OSPORB-99/2010): (Ionizing radiation, radiation safety SP 2.6.1. 2612-10): registered on August 11, 2010. Registration number 18115] Moscow: Minyust Rossii, 2010, 98 p.
6. US Reducing Radon in New Construction of 1 and 2 Family Dwellings and Townhouses (CCAH 2020). AARST Consortium on national radon standards, 33 p.
7. World Health Organization. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, WHO, Geneva, 2009, 94 p.
8. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. Ostatochnyj resurs silovogo soprotivleniya povrezhdenного zhelezobetona [Residual life of the force resistance of damaged reinforced concrete], *Vestnik Otdeleniya stroitel'nyh nauk Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk* [Bulletin of the Department of Construction Sciences of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences], 2005, No 9, p. 119.
9. Bondarenko V.M., Borovskih A.V., Markov S.V., Rimshin V.I. Elementy teorii rekonstrukcii zhelezobetona [Elements of the theory of reinforced concrete reconstruction], Moscow, 2002.
10. Kurbatov V.L., Rimshin V.I., Shumilova E.Iu. Kontrol i nadzor v stroitel'stve i zhilishchno-kommunalnom hozyajstve [Control and supervision in construction and housing and communal services], *Mineralnye Vody*, 2016.
11. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Shebashev V. E., Zaytseva I. A., Kotlov V. G., Emelin V. A. Osobennosti funkcionirovaniya freonovogo kontura malojetazhnogo zdaniya s vozdušnym teplovym nasosom v otopitel'nyj period [Features of functioning of a freon circuit of a low-rise building with an air heat pump during the heating period], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstrukcii. Tekhnologii* [Bulletin of Volga State University of Technology. Series: Materials. Structures. Technologies], 2019, No. 4(12), pp. 142-150.

Information about the authors

KALAYDO Aleksandr Vitalevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Luhansk State Pedagogical University, Luhansk. Research interests – theory and design of radon protection of residential and public buildings. Author of 80 publications. E-mail: kalaydo@mail.ru.

RIMSHIN Vladimir Ivanovich – Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Institute of Urban Development of Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Professor of the Department of Housing and Communal Complex of the Moscow State University of Civil Engineering, Moscow. Research interests – force resistance of building structures subject to degradation damage (force and environmental component), dissipative theory of the force resistance of reinforced concrete, general theory of degradation. Author of 525 publications, including 45 textbooks approved by the Ministry of Education and Science; 72 publications are indexed in WoS, Scopus. E-mail: v.rimshin@niisf.ru.

SEMENOVA Mariia Nikolaevna – Leading Engineer of Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow. Research interests – theory and design of radon protection of residential and public buildings. Author of 5 publications. E-mail: lor267gg@yandex.ru.

BYKOV Grigorii Sergeevich – master's degree student of National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk. Research interests – theory and design of radon protection of residential and public buildings. Author of 3 publications. E-mail: admin.nex@gmail.ru

Библиографическая ссылка

Пассивные технологии обеспечения радоновой безопасности воздушной среды проектируемых зданий / А. В. Калайдо, В. И. Римшин, М. Н. Семенова, Г. С. Быков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2021. – № 1(17). – С. 28-35. – DOI: 10.25686/2542-114X.2021.1.28