

БСТ

2021

Журнал
издается
с 1944 года

6

(1042)

Ежемесячное издание материалов
по техническому регулированию в строительстве

Двадцатого мая в Чикаго подведены итоги СТВУН Awards 2021 – главной международной премии в области уникального высотного строительства и городского развития.

По результатам общего голосования участников конференции 462-метровый небоскреб победил в номинациях «Лучшее здание высотой более 400 метров», «Лучшее высотное здание Европы» и «Строительство высотных зданий».

Международное жюри также признало «Лахта центр» лучшим проектом в номинации «Фасады высотных зданий».



**65 ЛЕТ —
НИИСФ РААСН**

ISSN 0007-7690

БСТ

Бюллетень
строительной
техники

№ 6 (1042) 2021

Журнал издается с 1944 года

Ежемесячный научно-технический,
производственный и иллюстрированный
журнал материалов
по техническому регулированию
в строительстве

Межправительственного совета
по сотрудничеству в строительной
деятельности стран СНГ,

Министерства строительства и ЖКХ РФ,
Федерального автономного учреждения
«Федеральный центр нормирования,
стандартизации и технической оценки
соответствия в строительстве»,

Российского союза строителей

Учредитель и издатель:
ИЗДАТЕЛЬСТВО «БСТ»

Главный редактор
Т.М. ШИШЛЕВА,
почетный строитель России

Редакционный совет:

Римшин В.И., докт. техн. наук
(председатель)
Басин Е.В., докт. экон. наук
Барнинова Л.С., канд. хим. наук
Беккер А.Т., докт. техн. наук
Гараев А.Н., канд. техн. наук
Ерофеев В.Т., докт. техн. наук
Золотов А.С., докт. техн. наук
Михеев Д.В., канд. экон. наук
Мясников А.Д., почетный строитель России
Плпшенко В.М., докт. техн. наук
Умаров У.Х., канд. техн. наук
Шилев Б.Е., канд. экон. наук
(зам. председателя)
Шубин И.Л., докт. техн. наук

Почтовый адрес издательства:
107996, Москва,
ул. Кузнецкий мост, 21/5, к. 5060

Тел./факс: (495) 626-04-76
E-mail: BSTmag@yandex.com
Адрес в Интернете: www.bstmag.ru;
www.bstmag.online

Подшивной индекс в каталоге
«Почта России» – П8417

Подписано в печать: 25.05.2021
Формат 60×90 1/8
Тираж

Цена договорная

I пол. обл. – Фото ТАСС.

Лахта центр, Санкт-Петербург

Перепечатка, публикация и использование в какой-либо форме опубликованных в журнале «БСТ» материалов, в том числе в электронном виде (размещение в Интернете, копирование на электронные и другие носители), а также включение в состав других произведений и сборников с целью перепродажи без письменного согласия Издательства запрещены.

За содержание и достоверность сведений в рекламных объявлениях ответственность несет рекламодатель.

Журнал зарегистрирован
Министерством Российской Федерации
по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство:

ПИ № 77-17072 от 26.12.2003.

Отпечатано в типографии ООО «ТРЕК ПРИНТ»

© Издательство «БСТ», 2021

ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК

СОДЕРЖАНИЕ

ОФИЦИАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Лента новостей

В Минстрое России

3, II пол. обл.

В ФАУ ФЦС

4, III пол. обл.

В РОСНАНО

4

Вести Главгосэкспертизы

58

НАУКА 2.1 ФГБУ «НИИСФ РААСН – 65»

К юбилею Н.И. Карпенко

8

Строительная и архитектурная акустика

Защита жилой застройки от шума расширенной
по мощности ТЭЦ Москвы

10

Экраны на эксплуатируемой кровле

13

Зависимость изоляции ударного шума от состава
конструктивных слоев напольного покрытия

16

Исследования влияния инновационного материала Тексаунд
на звукоизолирующие свойства строительных перегородок

18

Энергосбережение и экология

Обеспечение приемлемых уровней облучения радоном в
зданиях пассивными радонозащитными технологиями

20

Характеристика микробного анаммокс-сообщества и различие
технологических схем

23

Насосные станции. Рекомендации к определению стоимости
жизненного цикла

26

Отделочные материалы. Лазури

30

Применение мембранных методов для очистки
хозяйственно-бытовых сточных вод

34

Надежность строительных конструкций

Методы оценки геотехнических условий в рамках проведения
строительных работ

36

Информационные технологии

Разработка автоматизированной системы мониторинга
динамических параметров элементов строительных конструкций

40

Строительная теплофизика

О развитии исследований тепловых характеристик отопительного
оборудования

43

Способы отопления зданий и сооружений. Обзор литературы

46

Термодинамический анализ состояния поверхностной фазы
в системе «воздух-вода» с позиции теории потенциала влажности

48

Оптимизация сопротивления теплопередаче светопрозрачных
конструкций зданий. Обзор литературы

51

Строительные материалы

Выбор труб при проектировании систем водоотведения

54

ВЕСТИ ГЛАВГОСЭКСПЕРТИЗЫ

58

Практикум молодого и будущего ученого

Показатели влияния использования «живых стен»
в качестве наружных ограждающих конструкций

62

ДЕЛОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ

IV пол. обл.

BST

Byulleten'
stroitel'noj
tehniki

№ 6 (1042) 2021

The journal has been published since 1944

The monthly scientific and technical, production and illustrated journal of materials on technical regulation in construction of

Intergovernmental Council for cooperation in construction activity of the CIS countries,

the Ministry of Construction Industry, Housing and Utilities Sector of the Russian Federation,

the Federal autonomous institution «Federal center of norm setting, standardisation and technical conformity assessment in construction»,

the Russian union of builders

Founder and publisher:
BST PUBLISHING HOUSE

Editor-in-chief
T.M. SHPILEVA,
Honorary Builder of Russia

Editorial council:
Rimshin V.I., Doctor of Sciences (Engineering) (chairman)
Basin E.V., Doctor of Sciences (Economic)
Barinova L.S., Candidate of Sciences (Chemistry)
Bekker A.T., Doctor of Sciences (Engineering)
Garaev A.N., Candidate of Sciences (Engineering)
Erofeev V.T., Doctor of Sciences (Engineering)
Zolotkov A.S., Doctor of Sciences (Engineering)
Mikheev D.V., Candidate of Sciences (Economic)
Myasnikov A.D., Honorary Builder of Russia
Piliipenko V.M., Doctor of Sciences (Engineering)
Umarov U.H., Candidate of Sciences (Engineering)
Shpilev B.E., Candidate of Sciences (Economic) (deputy chairman)
Shubin I.L., Doctor of Sciences (Engineering)

Postal address of the publishing house:
107996, Moscow,
Kuznetsky most St., 21/5, of. 5060

Ph./fax: (495) 626-04-76
E-mail: BSTmag@yandex.com
Internet address: www.bstmag.ru;
www.bstmag.online

Subscription index in the catalog of
«Russian Post» – II8417

Sent for the press: 25.05.2021
Format: 60×90 1/8
Edition
Price: contractual

1 page of the cover – Photo by TASS,
Lakhta Center, Saint Petersburg

Reprint, publication and usage of published in the journal BST materials in any other form, including electronic form (placement on the Internet, copying on electronic and other media) and inclusion in the structure of other works and collections for the purpose of resale without written consent of the Publishing house are forbidden.

The responsibility for data in advertisements is on the advertiser.

The journal is registered by the Ministry of the Russian Federation for the press, TV and radio broadcasting and means of mass communications.

Certificate:
PI № 77-17072 of 26.12.2003.

Printed in printing house «TrackPrint»

© BST Publishing house, 2021

THE JOURNAL IS INCLUDED INTO THE LIST
OF THE HIGHEST CERTIFYING COMMISSION

CONTENTS

OFFICIAL SECTION

News line

In Ministry of Construction, Architecture and

Housing of Russia

In FAU ATsS

In RUSNANO

News of Main Department of state expertise of Russia

3, II p. of cover

4, III p. of cover

4

58

SCIENCE 2.1 FSBI «NIISPh RAACS – 65»

On the anniversary of N.I. Karpenko

8

Construction and architectural acoustics

Protection of residential buildings from noise to the expanded in capacity of the CHPP of Moscow

10

Screens on the operated roof

13

Dependence of impact noise insulation on the composition of the structural layers of the floor covering

16

Researches of the influence of innovative Tecsound material on the soundproofing properties of building partitions

18

Energy saving and environment

Ensuring acceptable levels of radon exposure in buildings with passive radon protection technologies

20

Application of membrane methods for the treatment of domestic wastewater

23

Pumping stations. Recommendations for evaluation of life cycle cost

26

Finishing materials. Azures

30

Application of membrane methods for the treatment of domestic wastewater

34

Reliability of building structures

Methods for assessing geotechnical conditions during construction work

36

Innovative technology

Development of an automated system for dynamic parameters monitoring of building' structural elements

40

Construction Thermal Physics

The development of research on the thermal characteristics of heating equipment

43

Methods for heating buildings and structures. Literature review

46

Thermodynamic analysis of the state of the surface phase in the «air-water» system from position of the humidity potential theory

48

Optimization of heat transfer resistance of translucent structures of buildings. Literature review

51

Construction materials

Selection of pipes in the design of wastewater drainage systems

54

NEWS OF MAIN DEPARTMENT OF STATE EXPERTISE OF RUSSIA

58

The workshop of the young and future scientist

Indicators of the influence of the use of “living walls” as external guarding structures

62

BUSINESS INFORMATION

IV p. of cover

УДК 699.887

Обеспечение приемлемых уровней облучения радоном в зданиях пассивными радонозащитными технологиями

Александр Витальевич Калайдо, канд. техн. наук,
ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет
имени Тараса Шевченко», Россия, г. Луганск;

Владимир Иванович Римшин, докт. техн. наук, проф.,
главный научный сотрудник,

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной
физики РААСН» (НИИСФ РААСН), Россия, Москва;

Мария Николаевна Семенова, ведущий инженер,
ФГБУ «Научно-исследовательский институт
строительной физики РААСН» (НИИСФ РААСН),
Россия, Москва;

Аннотация. Радоновая обстановка в помещениях нижнего этажа зданий практически полностью определяется величиной потока радона из грунта через подземные горизонтальные ограждающие конструкции. В силу разнообразия конструкций подземной оболочки современных зданий и широкого диапазона изменения проницаемостей конструкции пола поступление радона в здание может носить диффузионный, конвективный или конвективно-диффузионный характер, причем каждый из механизмов переноса требует реализации собственного комплекса радонозащитных мероприятий. В статье описан подход к проектированию зданий с наперед заданными низкими уровнями радона в воздухе помещений, которые обеспечиваются пассивными технологиями защиты от радона. В его основе лежит исключение конвективного поступления радона из грунта и дальнейшее определение требуемого сопротивления радонопроницанию конструкции пола исходя из диффузионной модели переноса активности в пористой среде.

Ключевые слова: радон, дочерние продукты распада, грунт, проницаемость конструкции пола диффузионный, конвективный, перенос, сопротивления радонопроницанию.

Ensuring acceptable levels of radon exposure in buildings with passive radon protection technologies

Alexander Vitalievich Kalaido, Cand.Tech.Sci.,
State Educational Institution of the LPR «Luhansk
Taras Shevchenko National University», Russia, Luhansk;

Vladimir Ivanovich Rimshin, Doct.Tech.Sci., Professor,
Chief Researcher,

Maria Nikolaevna Semenova, Lead Engineer,
Research Institute of construction
physics of RAASN, Russia, Moscow

Abstract. Radon exposure is usually attributed to technogenically altered factors of the natural radiation background, its content in the atmospheric air is negligible, whereas in buildings under certain conditions it can reach dangerous values. In most areas with temperate and cold climates, exposure to radon and its daughter decay products (DPR) in everyday life makes the greatest contribution to the formation of the annual effective dose of radiation to the population. Ensuring that these levels are not exceeded is achieved at the design stage of the building by choosing a rational floor design and using materials with high radon protection characteristics.

Key words: radon, daughter decay products, soil, permeation of the floor structure, diffusion, convective, transport, radon permeation resistance.

Радон – радиоактивный газ, имеющий три естественных изотопа (радон ^{222}Rn , торон ^{220}Rn и актинон ^{219}Rn), образующийся в геологической среде и материалах ограждающих конструкций из материнского радия и способный накапливаться в воздухе помещений. Период полураспада радона ^{222}Rn составляет 3,8 дня, торона ^{220}Rn – 55 с и актинона – 4 с, поэтому поступать в здания извне способен только основной изотоп ^{222}Rn , вклад двух других изотопов в формировании дозы облучения радоном незначителен.

Облучение радоном принято относить к техногенно измененным факторам естественного радиационного фона, его содержание в атмосферном воздухе пренебрежимо мало, тогда как в зданиях при определенных условиях может достигать опасных значений. В настоящее время радон является второй после курения причиной возникновения рака легких у населения во всем мире [1-3].

На большинстве территорий с умеренным и холодным климатом облучение радоном и его дочерними продуктами распада (ДПР) в быту вносит наибольший вклад в формирование годовой эффективной дозы облучения населения. Так, в наиболее радоноопасных регионах России – Республике Алтай и Забайкальском крае – годовая доза облучения только от радона и его ДПР составляет 7,76 и 5,52 мЗв в соответственно [4], что попадает в диапазон повышенного облучения по классификации МАГАТЭ [5].

Радон не образуется в воздухе помещений, он поступает туда из грунта под зданием, при выделении с внутренних

поверхностей ограждающих конструкций, а также с наружным воздухом, питьевой водой и природным газом [6]. Но мощности данных источников существенно различны: не менее 90% радона переносится в здание из грунта, остальная часть выделяется из стен и перекрытий, а поступления из остальных источников пренебрежимо малы [7 – 9]. Таким образом, формирование неблагоприятной радоновой ситуации в здании возможно лишь при больших потоках радона из грунта в помещения нижнего этажа.

С целью ограничения ущерба от облучения населения радоном и его дочерними продуктами распада санитарным законодательством РФ установлены допустимые значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) дочерних продуктов распада радона в воздухе помещений: 100 Бк/м³ для строящихся зданий и 200 Бк/м³ – для эксплуатируемых [10-11].

Обеспечение непревышения данных уровней достигается на стадии проектирования здания за счет выбора рациональной конструкции пола и использования в ней материалов с высокими радонозащитными характеристиками [12-13]. Именно ограждающие конструкции должны, наряду с основными несущими функциями, обеспечивать эффективное ограничение поступления радона в помещения нижнего этажа. Подобные радонозащитные технологии называются пассивными, необходимость же применения активных технологий (систем вентиляции помещения или грунтового основания) в подавляющем большинстве случаев

указывает на ошибки в проектировании подземной оболочки здания [14].

Плотность потока радона из грунта через подземные горизонтальные ограждающие конструкции определяет значение ЭРОА радона в воздухе помещения, связь данных величин имеет вид [15]

$$q_{Rn} = ЭРОА \cdot \frac{\lambda + n}{F} \cdot \frac{V}{S} = ЭРОА \cdot \frac{\lambda + n}{F} \cdot h, \quad (1)$$

где $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6}$ с – постоянная распада радона; n – кратность воздухообмена в помещении, c^{-1} ; F – коэффициент сдвига радиоактивного равновесия; S – площадь конструкции пола, контактирующей с грунтовыми основаниями, m^2 ; V – объем помещения, m^3 ; h – высота помещения, м.

Радиобезопасность воздушной среды здания должна обеспечиваться даже при наихудших условиях воздухообмена, характерных для холодного времени года ($n \approx 0,05 \div 0,2 \text{ ч}^{-1} = (1,39 \div 5,52) \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$). Коэффициент сдвига радиоактивного равновесия в реальных условиях эксплуатации зданий лежит в пределах от 0,2 до 0,8 [16], при этом большие значения F соответствуют низким кратностям воздухообмена.

Таким образом, задавшись требуемым значением активности радона в воздухе помещений после ввода здания в эксплуатацию, из (1) можно определить предельно допустимую плотность потока радона (ППР), поступающего из грунта. Национальный контрольный уровень ЭРОА радона в $100 \text{ Бк}/m^3$ не устанавливает границу между безопасной и опасной дозами облучения, он лишь обозначает содержание радона в воздухе помещений, превышение которого недопустимо в настоящее время. При этом рекомендуется поддержание более низкого уровня радона, достижимого без неоправданных затрат на данной территории. В настоящее время в качестве такого уровня для зданий потенциально нерадоноопасных территорий целесообразно принять значение ЭРОА = $40 \dots 60 \text{ Бк}/m^3$, где меньшие значения рекомендуются для социально значимых объектов – дошкольных образовательных учреждений, школ, больниц и так далее.

В табл. 1 представлены результаты оценки плотности потока радона для данного диапазона ЭРОА. При вычислении плотности потока радона q коэффициент сдвига радиоактивного равновесия между радоном и его продуктами распада определяется через кратность воздухообмена в помещении по формуле [17]

$$F = -0,001n^5 + 0,0158n^4 - 0,1025n^3 + 0,3491n^2 - 0,7093n + 0,9784, \quad (2)$$

его величина находилась в пределах от 0,944 для $n = 0,05 \text{ ч}^{-1}$ до 0,744 для $n = 0,4 \text{ ч}^{-1}$.

Таблица 1

Плотность потока радона из грунта в здании

Параметры внутреннего воздуха	Плотность потока радона q , $mBк/(m^2 \cdot c)$			
	$n = 0,05 \text{ ч}^{-1}$	$n = 0,1 \text{ ч}^{-1}$	$n = 0,2 \text{ ч}^{-1}$	$n = 0,4 \text{ ч}^{-1}$
ЭРОА = $40 \text{ Бк}/m^3$	2,0	3,9	8,1	18,3
ЭРОА = $60 \text{ Бк}/m^3$	3,0	5,9	12,2	27,4

Как видно из табл. 1, благоприятная радоновая обстановка в помещении нижнего этажа может иметь место при плотности потока радона из грунта в диапазоне от 2 до $27,4 \text{ мБк}/(m^2 \cdot c)$. При этом меньшее значение соответствует режиму «закрытого» помещения, а большее – режиму нормальной вентиляции (кратность воздухообмена в жилой зоне не должна быть меньше $0,35 \text{ ч}^{-1}$ в соответствии с требованиями санитарного законодательства [18]).

Данный поток радона, в зависимости от условий переноса, может быть диффузионным, конвективным или конвективно-диффузионным. Поэтому практический интерес представляет оценка вкладов диффузии и конвекции в перенос радона из грунта в здание.

Конвективный поток радона управляется температурно-индуцированным градиентом давлений на внешних границах фундамента, величина этого градиента обычно не превышает $2 \text{ Па}/m$ [19]. Плотность конвективного потока определяется из закона Дарси

$$q_{кон} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \cdot A, \quad (3)$$

где k – воздухопроницаемость грунта, m^2 ; $\mu = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot c$ – динамическая вязкость почвенного газа; P – давление воздуха, Па; A – объемная активность радона в потоке почвенного воздуха, $Bк/m^3$.

Плотность конвективного потока радона в грунте и в материалах ограждающих конструкций может изменяться в очень широких пределах, что вызвано большим размахом вариаций воздухопроницаемости грунтов и строительных материалов – от $10^{-9} m^2$ для грубых песков до $10^{-14} m^2$ для плотных глин и до $10^{-16} m^2$ для бетонов.

Напротив, диффузионный поток радона через подземные ограждающие конструкции 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

$$q_{диф} = D \cdot \frac{\partial A}{\partial z}, \quad (4)$$

где D – эффективный коэффициент диффузии радона в слое среды, m^2/c .

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

Радон непрерывно генерируется в грунте, после чего за счет конвекции и диффузии переносится по направлению к дневной поверхности. Максимальная активность радона в почвенном воздухе достигается на глубине 3-7 м, ее величина может быть определена по формуле

$$A_{max} = C_{Ra} \cdot \rho_z \cdot k_{эм} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}, \quad (5)$$

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

Величина активности радона в почвенном воздухе A_{max} для глинистых почв (суглинки, песчаные глины), распространенных на территории Москвы, найденная по (5) составляет $36500 \text{ Бк}/m^3$. В расчете содержание радия бралось равным $30 \text{ Бк}/кг$ (что соответствует среднемировому значению), $k_{эм} = 0,3$ и пористость $\varepsilon = 0,4$. По мере приближения к дневной поверхности активность радона в грунте уменьшается, стремясь к нулю на границе раздела сред «грунт-атмосфера».

Подземные горизонтальные конструкции зданий препятствуют выходу радона в атмосферу, поэтому его активность под фундаментом значительно выше, чем на той же глубине в открытом грунте. Активность радона под зданием растет по мере уменьшения проницаемости конструкции пола, для бетонных плит без трещин и воздушных зазоров она составляет $85-90\%$ от A_{max} . Но при расчете радонозащитной способности конструкции пола удобно считать радоновую нагрузку на фундамент равной A_{max} , так как принятый запас позволяет не учитывать поступление радона в воздух помещения из строительных материалов.

На рис. 1 показано соотношение плотностей диффузионного и конвективного потоков радона в зависимости от воздухопроницаемости среды. При определении плотности диффузионного потока радона коэффициент диффузии принимался равным $D_{эф} = 1,0 \cdot 10^{-6} m^2/c$, а расчет плотности конвективного потока выполнялся для значения градиента давления $\partial P/\partial z = 1,0 \text{ Па}/m$.

Как видно из рис. 1, конвективный поток начинает играть значимую роль в поступлении радона в здание при проницаемостях $(3 \div 5) \cdot 10^{-12} m^2$, а при проницаемостях $(3 \div 5) \cdot 10^{-11} m^2$ 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 конструкции пола не более 10^{-12} м^2 .

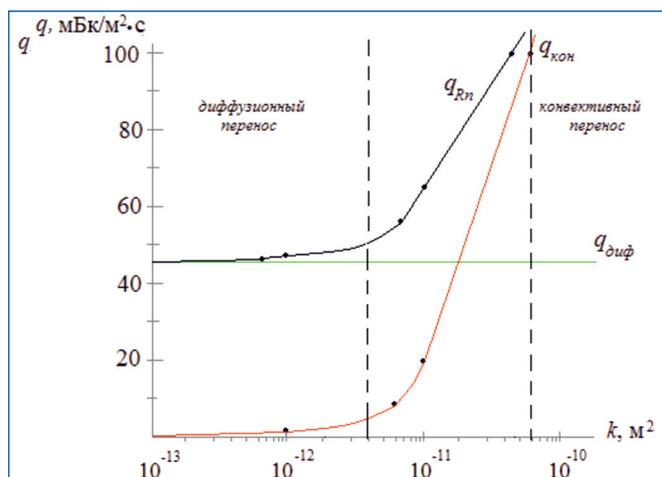


Рис. 1. Зависимость плотностей потока радона из грунта в здание от проницаемости конструкции пола: $q_{\text{диф}}$ – плотность диффузионного потока; $q_{\text{кон}}$ – плотность конвективного потока; $q_{\text{сум}}$ – суммарная плотность потока радона

Также из рис. 1 видно, что плотность диффузионного потока не может быть снижена за счет уменьшения воздухопроницаемости подземной оболочки здания. Эффективным препятствием для диффузионного переноса радона являются материалы с низким коэффициентом диффузии радона в них. В условиях чисто диффузионного переноса радона в здание методика обеспечения его радоновой безопасности на стадии проектирования имеет следующий вид:

1. По заданному значению ЭРОА и соответствующей плотности потока радона $q_{\text{Рн}}$ определяется минимальное достаточное сопротивление радонопроницанию конструкции пола по формуле

$$R_{\text{min}} = \frac{\Delta A}{q_{\text{диф}}} \quad (6)$$

Для обеспечения ЭРОА = 60 Бк/м³ в воздухе помещения нижнего этажа при разных условиях воздухообмена (табл. 1) значение сопротивления радонопроницанию конструкции пола будет находиться в интервале от

$$R_1 = \frac{36\,500}{3 \cdot 10^{-3}} = 1,21 \cdot 10^7 \text{ с/м} \text{ до } R_2 = \frac{36\,500}{27,4 \cdot 10^{-3}} = 0,13 \cdot 10^7 \text{ с/м}.$$

2. Проверяется возможность обеспечения требуемого сопротивления радонопроницанию однослойной конструкцией пола (бетонная плита). Сопротивление радонопроницанию слоя однородного материала определяется по формуле [20]

$$R = \frac{1}{\sqrt{\lambda \cdot D_0}} \cdot sh \left(H \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_0}} \right), \quad (7)$$

где H – толщина фундаментной плиты, м; $D_0 = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ – коэффициент диффузии радона в бетоне.

Выражая из (7) толщину плиты основания, находим

$$H_{1,2} = \sqrt{\frac{D_0}{\lambda}} \cdot \text{arcsinh} \left(R_{1,2} \cdot \sqrt{\lambda \cdot D_0} \right).$$

$$H_1 = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 10^{-7}}{2,1 \cdot 10^{-6}}} \cdot \text{arcsinh} \left(0,13 \cdot 10^7 \cdot \sqrt{1,1 \cdot 10^{-7} \cdot 2,1 \cdot 10^{-6}} \right) = 0,135 \text{ м};$$

$$H_2 = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 10^{-7}}{2,1 \cdot 10^{-6}}} \cdot \text{arcsinh} \left(1,21 \cdot 10^7 \cdot \sqrt{1,1 \cdot 10^{-7} \cdot 2,1 \cdot 10^{-6}} \right) = 0,565 \text{ м}.$$

3. Если толщина плиты основания существенно превышает размеры, необходимые для обеспечения основных несущих

функций ($H_2 = 0,565 \text{ м}$, случай низкого воздухообмена), то во избежание неоправданного увеличения материалоемкости строительства в конструкцию пола должен быть введен второй слой с высоким сопротивлением радонопроницанию. Таким слоем может выступать гидрогазоизолирующий полимерный материал толщиной 2...3 мм с коэффициентом диффузии радона $1 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$, также в качестве дополнительного слоя находят применение рулонные битумно-полимерные материалы и мембраны на различной основе, для которых величина коэффициента диффузии радона лежит в диапазоне от 10^{-11} до $10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$.

4. Для двухслойной конструкции общее сопротивление радонопроницанию выражается формулой

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

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

Минимальная требуемая толщина слоя бетонной плиты основания определяется из (8) аналогично рассмотренному выше случаю однослойной радонозащитной конструкции.

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

Литература.

1. Darby S, Hill D, Auvinen A, et al. 2005 Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal* 330 pp. 223–227.
2. 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.
3. International Agency for Research on Cancer (IARC). *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. Vol 78. Ionizing Radiation. Part 5. Some Internally Deposited Radionuclides. Lyon. 2001. 147 p.
4. Романович, И.К. *Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия* / ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева (Романович И.К., Стамат И.П., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В. и др.); под редакцией академика РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой. – Санкт-Петербург: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. – 432 с.
5. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Vienna, 2014. 471 p.
6. Васильев, А.В. *Исследование механизмов и источников поступления радона в здания, построенные по современным технологиям* / А.В. Васильев, М.В. Жуковский, А.Д. Онищенко, А.А. Вишневский. А.А. // *Стройкомплекс Среднего Урала*, 2012. – № 12. – С. 21–24.
7. Микляев, П.С. *Проблемы оценки и картирования естественного радионуклидного потенциала* // П.С. Микляев, Т.Б. Петрова // *Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата «Геориск – 2018» Материалы X Международной научно-практической конференции по проблемам снижения природных опасностей и рисков*, 2018. – С. 87–92.
8. Jelle P P 2012 Development of a model for radon concentration in indoor air *Science of the Total Environment* 416 Pp. 343–350.
9. Fronka A 2011 Indoor and soil gas radon simultaneous measurements for the purpose of detail analysis of radon entry pathways into houses. *Radiation Protection Dosimetry* 145(2–3) pp. 117–122.
10. *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.*
11. *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.*
12. Гулябия, Л.А. *Радонозащитная способность ограждающих конструкций зданий и сокращение неоправданных затрат при строительстве* // *Жилищное строительство*, 2015. – № 6. – С. 68.
13. Гулябия, Л.А. *Метод расчета требуемого сопротивления радонопроницанию подземных ограждающих конструкций зданий* // *АНРИ: Аппаратура и новости радиационных измерений*, 2011. – № 4 (67). – С. 26–32.
14. Гулябия, Л.А. *Определение радоновой нагрузки на подземные ограждающие конструкции здания* / Л.А. Гулябия, М.И. Лившиц, С.В. Медведев // *Academia. Архитектура и строительство*, 2016. – № 1. – С. 122–128.
15. Bakaeva N V, Kalaydo A V 2019 Determination of resistance to radon entry of underground walling at stage of construction design IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 687 033018 doi:10.1088/1757-899X/687/3/033018.
16. ICRP: Protection against radon-222 at home and work. International Commission on Radiological Protection Publication 65. Pergamon, 1994. 89 p.
17. Жуковский, М.В. *Радоновая безопасность зданий* / М.В. Жуковский, А.В. Кружаков, В.Б. Гурвич, И.В. Ярмошенко // Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 180 с.
18. СП 55.13330.2011 *Дома жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-02-2001. Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2010 г. № 789 и введен в действие с 20 мая 2011 г.*
19. Kojima H, Nagano K 2000 Dependence of barometric pressure, wind velocity and temperature on the variation of radon exhalation *Proceedings of the 2000 International Radon Symposium NJ III pp. 6.1–6.11.*
20. Гулябия, Л.А. *Пособие по проектированию противорадоновой защиты жилых и общественных зданий*. – М.: НО «ФОН-НАВКА», 2013. – 52 с.