



ISSN 0044-4472

6'2018

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

60 лет с отраслью

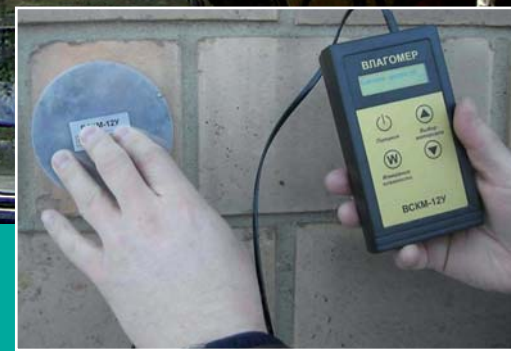
научно-технический и производственный журнал

www.rifsm.ru

издается с 1958 г.

К проведению Международной конференции IX Академические чтения,
посвященные памяти академика РААСН Г.Л. Осипова

«Актуальные вопросы строительной физики.
Энергосбережение. Надежность строительных
конструкций и экологическая безопасность»



Учредитель журнала
АО «ЦНИИЭП жилища»

Ежемесячный научно-технический
и производственный журнал

Входит в Перечень ВАК,
государственный проект РИНЦ
и RSCI на платформе Web of Science

Журнал зарегистрирован
Министерством РФ по делам
печати, телерадиовещания
и средств массовой информации
№ ФС77-64906

Главный редактор

ЮМАШЕВА Е.И.,
инженер-химик-технолог,
почетный строитель России

Редакционный совет:

НИКОЛАЕВ С.В.,
председатель, д-р техн. наук,
АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва)

АКИМОВ П.А.,
д-р техн. наук, академик РААСН
(Москва)

ВАВРЕНЮК С.В.,
д-р техн. наук, член-корреспондент
РААСН (Владивосток)

ВОЛКОВ А.А.,
д-р техн. наук, член-корреспондент
РААСН (Москва)

ГАГАРИН В.Г.,
д-р техн. наук, член-корреспондент
РААСН (Москва)

ЖУСУПБЕКОВ А.Ж.,
д-р техн. наук (Астана, Казахстан)

ЗВЕЗДОВ А.И.,
д-р техн. наук, президент ассоциации
«Железобетон» (Москва)

ИЛЬИЧЕВ В.А.,
д-р техн. наук, академик РААСН
(Москва)

КОЛЧУНОВ В.И.,
д-р техн. наук, академик РААСН
(Курск)

МАНГУШЕВ Р.А.,
д-р техн. наук, член-корреспондент
РААСН (Санкт-Петербург)

СУББОТИН О.С.,
д-р архитектуры (Краснодар)

ТЕР-МАРТИРОСЯН А.З.,
д-р техн. наук (Москва)

Авторы

опубликованных материалов несут
ответственность за достоверность
приведенных сведений, точность
данных по цитируемой литературе
и за использование в статьях
данных, не подлежащих открытой
публикации.

Редакция

может опубликовать статьи
в порядке обсуждения,
не разделяя точку зрения автора.

Перепечатка

и воспроизведение статей,
рекламных и иллюстративных
материалов возможны лишь
с письменного разрешения
главного редактора.

Редакция не несет
ответственности за содержание
рекламы и объявлений.

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

60 лет отрасли

Издается с 1958 г.

6'2018

К проведению Международной конференции IX Академические чтения, посвященные памяти академика РААСН Г.Л. Осипова «Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение. Надежность строительных конструкций и экологическая безопасность»

Е.Г. МАЛЯВИНА, А.В. САВИНА, Ю.Н. ЛЕВИНА

Сравнение экономических показателей схем обработки приточного воздуха
для крытого аквапарка 3

Е.В. КОРКИНА

Критерий эффективности замены стеклопакетов в здании
с целью энергосбережения 6

И.Л. ШУБИН, А.В. КАЛАЙДО

Обеспечение радиационной безопасности объектов строительства
на стадии их проектирования 10

В.В. БРЫЗГАЛИН

Тепловой баланс стены Тромба в климате Центральной России 15

К.С. АНДРЕЙЦЕВА

Особенности расчета температурных полей при проектировании
ограждающих конструкций 19

И.А. ШМАРОВ, В.А. ЗЕМЦОВ, В.В. ЗЕМЦОВ, В.А. КОЗЛОВ

Обновленная методика расчета продолжительности инсоляции помещений
и территорий по инсоляционным графикам 24

В.А. СМИРНОВ

Виброзащита верхнего строения пути метрополитена
с применением конструкции типа «масса-пружина» 32

Л.К. БОГОМОЛОВА, В.Д. ИЛЬНИЦКИЙ

Метод ускоренной оценки долговечности алюминиевого профиля
под действием климатических факторов 36

Э.П. ЧЕРНЫШОВА, И.Ю. НИКИШАЕВА, В.Е. ЧЕРНЫШОВ

Архитектурные пространства дохристианского периода 40

В.А. АИСТОВ

Оптимизация шумового режима многофункционального
мультимодального транспортного узла «Сколково» 44

Градостроительство и архитектура

И.С. РОДИОНОВСКАЯ, СЯ ЦИН

Этническая специфика ландшафтно-рекреационного пространства
в жилой среде Китая 49

УДК 614.8.086.5

И.Л. ШУБИН¹, член-корр. РААСН, д-р техн. наук, директор,
А.В. КАЛАЙДО², канд. техн. наук (kalaydo18@mail.ru)

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

² Луганский национальный университет им. Тараса Шевченко (91011, г. Луганск, ул. Оборонная, 2)

Обеспечение радиационной безопасности объектов строительства на стадии их проектирования

Предложен принципиально новый подход к обеспечению требуемого уровня радоновой безопасности объектов строительства на стадии их проектирования. Для описания радоновой обстановки в помещениях нижнего этажа разработана математическая модель двумерного стационарного диффузионного переноса радона в системе сред «грунт–атмосфера–здание». С ее использованием получены зависимости радоновой нагрузки на подземные ограждающие конструкции от конструктивных характеристик здания и физических свойств грунта в его основании. Показано, что при отсутствии радиационных аномалий радоновая безопасность объекта строительства должна обеспечиваться исключительно рациональным проектированием конструкции пола. Предложен алгоритм применения данной математической модели на стадии инженерно-экологических изысканий для прогнозирования уровней радона в здании после его возведения, обосновано ее использование при реализации принципиально нового подхода к оценке потенциальной радоноопасности проектируемых зданий, не требующего измерения плотности потока радона на участке застройки.

Ключевые слова: радон, ограждающие конструкции, диффузионный перенос, грунт, воздух помещения, поступление, здание, радоновая обстановка, математическая модель.

Для цитирования: Шубин И.Л., Калайдо А.В. Обеспечение радиационной безопасности объектов строительства на стадии их проектирования // *Жилищное строительство*. 2018. № 6. С. 10–14.

I.L. SHUBIN¹, Corresponding Member of RAACS, Doctor of Sciences (Engineering), Director; A.V. KALAYDO², Candidate of Sciences (Engineering) (kalaydo18@mail.ru)

¹ Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

² Luhans Taras Shevchenko National University (2, Oboronnaya Street, 91011, Luhansk)

Ensuring the Radiation Safety of Construction Projects at the Design Stage

The paper proposes a principally new approach to ensuring the required level of radon safety of construction objects at their design stage. To describe the radon situation in the premises of the lower storey, a mathematical model of two-dimensional stationary diffusive radon transport in the «soil-atmosphere-building» media system was developed. Due to its use, dependences of the radon load on the underground enclosing structures upon the building structural characteristics and the soil block physical properties were obtained. It is shown that in the absence of radiation anomalies, the radon safety of the construction object should be provided exclusively by rational design of the floor structure. An algorithm of the use of this mathematical model at the stage of engineering-ecological surveys for prediction of radon levels in the building after its construction is proposed, its use when realizing the principally new approach to the assessment of the potential radon hazard of the designed buildings is substantiated. This approach does not require the measurement of radon flux density at construction sites.

Keywords: radon, enclosing structures, diffusive transport, soil, indoor air, entry, building, radon situation, mathematical model.

For citation: Shubin I.L., Kalaydo A.V. Ensuring the radiation safety of construction projects at the design stage. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 6, pp. 10–14. (In Russian).

Радон и его дочерние продукты распада, содержащиеся в воздухе помещений, формируют от 50 до 90% годовой дозы облучения населения от всех источников ионизирующего излучения как в Российской Федерации [1, 2], так и за ее пределами [3–5]. Радоновая экспозиция на данный момент является второй по частоте после курения причиной возникновения рака легкого. Как следствие, снижение дозы облучения населения радоном в зданиях является актуальной научно-практической задачей. С целью ее решения Нормами радиационной безопасности НРБ-99/09 установлены предельные допустимые значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона, составляющие 200 Бк/м³ для эксплуатируемых зданий и 100 Бк/м³ – для строящихся и реконструируемых.

Величина ЭРОА радона в воздухе помещений является критерием потенциальной радоноопасности существующих зданий на данной территории, но для строящихся зданий ее измерение попросту невозможно [6]. Санитарным законодательством РФ в качестве характеристики радоноопасности участка застройки установлена величина плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта не более 80 мБк/(м²·с), однако данное численное значение было получено с использованием ряда не оправдавшихся впоследствии предположений. Нецелесообразность использования ППР в качестве критерия радоноопасности участка застройки наиболее полно показана в работах [7–9]. Таким образом, на данный момент существует острая необходимость в разработке принципиально новых подходов к опре-

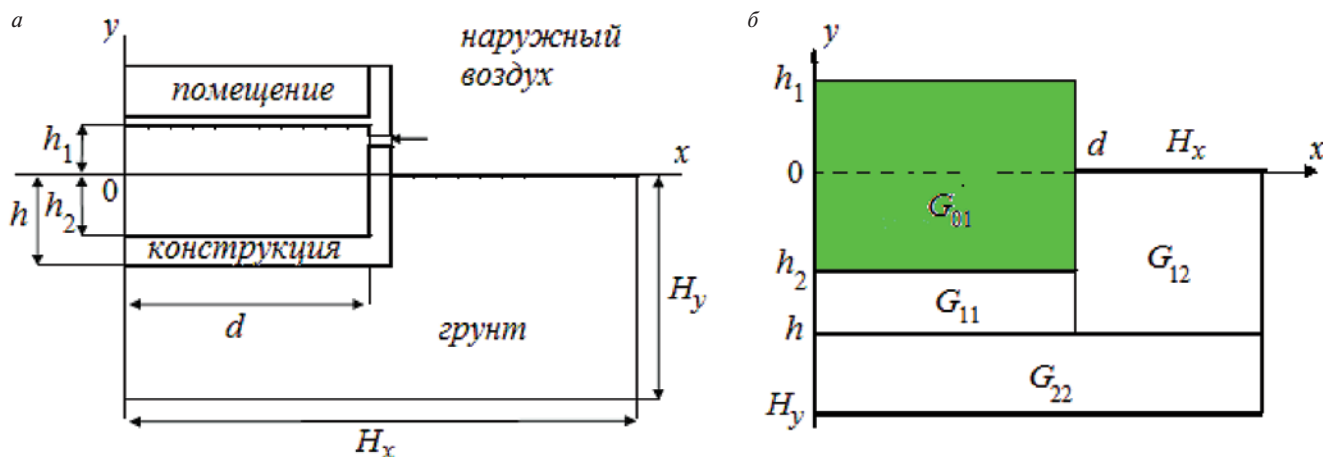


Рис. 1. Схема к постановке задачи (а) и схема привязки элементов системы к координатным осям (б)

делению потенциальной радоноопасности проектируемых зданий на данной территории.

Радон поступает в помещения нижнего этажа из грунта, материалов ограждающих конструкций и атмосферного воздуха, при этом грунтовое основание обеспечивает порядка 90% общего объема поступления. Радонозащитные мероприятия наиболее эффективны при их реализации в непосредственной близости от основного источника поступления, поэтому радоновая безопасность зданий должна обеспечиваться рациональным проектированием подземных ограждающих конструкций.

Процесс формирования радоновой обстановки в здании зависит от достаточно большого числа факторов, характеризующих свойства почвы, конструктивные характеристики здания и климатические параметры. Многофакторность данного процесса и невозможность натурных исследований ЭРОА радона на стадии проектирования приводят к тому, что математическое моделирование является единственным средством прогнозирования концентрации радона в помещениях после введения здания в эксплуатацию. При этом для описания радоновой ситуации в проектируемом здании существует два подхода: использовать численное моделирование как автономный инструмент или же в сочетании со специальными экспериментами. В исследованиях, проведенных НИИСФ РААСН, был использован второй подход.

Этап 1. Разработка математической модели

Обязательными требованиями к любой математической модели являются ее корректность и «прозрачность», обеспечиваемая введением упрощающих допущений, которые сужают область адекватности данной модели реальным условиям. Проектируемые здания обладают герметичностью и высоким сопротивлением радонопроницанию подземных ограждающих конструкций, что позволяет пренебречь конвективным поступлением радона. Его поступление с питьевой водой и природным газом пренебрежимо мало в условиях централизованного водо- и газоснабжения, поэтому в качестве источников радона в модели рассматриваются только грунт в основании здания, материалы ограждающих конструкций и наружный воздух (инфильтрация). Ширина здания полагается значительно меньше длины, а само здание считается симметричным – это позволяет перейти к решению задачи в двумерной постановке, что практически

не сказывается на точности вычислений (по сравнению с трехмерной), но значительно упрощает расчеты. На рис. 1 представлена схема к постановке задачи и расчетная схема задачи.

Модель рассматривает диффузионный перенос радона внутри каждой из четырех областей G_{01} , G_{11} , G_{12} и G_{22} , определяя функции объемной активности радона $A_{ij}(x, y)$, Бк/м³ радона в каждой из них:

$$\begin{aligned} A_{01}(x, y) & \text{ при } 0 \leq x \leq d, h_2 \leq y \leq h_1, \text{ – в области } G_{01}; \\ A_{11}(x, y) & \text{ при } 0 \leq x \leq d, h \leq y \leq h_2, \text{ – в области } G_{11}; \\ A_{12}(x, y) & \text{ при } d \leq x \leq H_x, h \leq y \leq 0, \text{ – в области } G_{12}; \\ A_{22}(x, y) & \text{ при } 0 \leq x \leq H_x, H_y \leq y \leq h, \text{ – в области } G_{22}. \end{aligned}$$

Объемные активности $A_{ij}(x, y)$ определяются решением системы четырех дифференциальных уравнений в частных производных:

$$D_i \left(\frac{\partial^2 A_{i1}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_{i1}}{\partial y^2} \right) - \lambda A_{i1}(x, y) + W_i = 0, \quad i = 0, 1; \quad (1)$$

$$D_2 \left(\frac{\partial^2 A_{i2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_{i2}}{\partial y^2} \right) - \lambda A_{i2}(x, y) + W_2 = 0, \quad i = 1, 2, \quad (2)$$

где D_i – коэффициенты диффузии радона в воздухе, материале конструкции и грунте соответственно, м²/с; A_i – объемные активности радона в воздухе помещения, материале конструкции и почвенном воздухе соответственно, Бк/м³; W_i – скорость образования радона в воздухе помещения, материале конструкции и почвенном воздухе соответственно, Бк/(м³·с); $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ – постоянная распада радона.

Граничные условия на внешних границах областей имеют вид:

$$\text{– для } G_{01} \quad \frac{\partial A_{01}}{\partial x} = 0, \quad \text{при } x = 0, x = d, h_2 \leq y \leq h_1; \quad (3)$$

$$\text{– для } G_{11} \quad \frac{\partial A_{11}}{\partial x} = 0, \quad \text{при } x = 0, x = d, h \leq y \leq h_2; \quad (4)$$

$$\text{– для } G_{12} \quad \frac{\partial A_{12}}{\partial x} = 0, \quad \text{при } x = d, x = H_x, h \leq y \leq 0; \quad (5)$$

$$\text{– для } G_{22} \quad \frac{\partial A_{22}}{\partial x} = 0, \quad \text{при } x = 0, x = H_x, H_y \leq y \leq h; \quad (6)$$

$$\text{– для } G_{01} \quad \frac{\partial A_{01}}{\partial y} = 0, \quad \text{при } y = h_1, 0 \leq x \leq d; \quad (7)$$

$$- \text{ для } G_{22} \frac{\partial A_{22}}{\partial y} = 0, \text{ при } y = H, 0 \leq x \leq H_x; \quad (8)$$

$$- \text{ для } G_{12} \frac{\partial A_{12}}{\partial y} = \alpha A_{12}(x, y), \text{ при } y = 0, d \leq x \leq H_x. \quad (9)$$

Равенство потоков и объемных активностей на внутренних границах формирует граничные условия IV рода:

$$A_{01}(x, h_2) = A_{11}(x, h_2), \quad D_0 \frac{\partial A_{01}(x, h_2)}{\partial y} = D_1 \frac{\partial A_{11}(x, h_2)}{\partial y} \\ \text{при } 0 \leq x \leq d; \quad (10)$$

$$A_{11}(x, h) = A_{22}(x, h), \quad D_1 \frac{\partial A_{11}(x, h)}{\partial y} = D_2 \frac{\partial A_{22}(x, h)}{\partial y} \\ \text{при } 0 \leq x \leq d; \quad (11)$$

$$A_{12}(x, h) = A_{22}(x, h), \quad D_1 \frac{\partial A_{12}(x, h)}{\partial y} = D_2 \frac{\partial A_{22}(x, h)}{\partial y} \\ \text{при } d \leq x \leq H_x. \quad (12)$$

Для каждого уравнения системы (1)–(2) с соответствующими граничными условиями применяется метод разделения переменных, при котором решения $A(x, y)$ ищутся в виде:

$$A(x, y) = \frac{G_s}{\lambda} \left(1 - N_0 e^{-\sqrt{\frac{\lambda}{D_s}} y} \right) + \\ + \sum_{n=1}^{\infty} (p_n(s) \cos(u_n(s)(x - a_1(s))) (R_n e^{v_n(s)(y - b_1(s))} + e^{-v_n(s)(y - b_1(s))}) + \\ + q_n(s) \cos(u_n(s)(y - a_2(s))) \cdot \cosh(v_n(s)(x - b_2(s))), \quad (13)$$

где $p_n(s)$, $q_n(s)$, $n = 0, 1, 2, \dots$; $s = 0, 1, 2$ – неопределенные коэффициенты.

Неопределенные коэффициенты находятся путем замены рядов в (13) конечными суммами и решения системы линейных уравнений (1)–(2), полученных после приравнивания значений $A(x, y)$ и ее производной на общих границах смежных областей.

Этап 2. Проведение специального эксперимента

В качестве главного упрощающего допущения при построении модели был принят диффузионный характер переноса радона в пористых средах. Из теории массопереноса известно, что диффузия может вызываться разностью концентрации (молекулярная), температуры (термическая) и давления (барическая). Принято считать, что эффекты термо- и бародиффузии незначительны при перепадах температуры и давления, характерных для зданий, но данная точка зрения не подтверждена экспериментально. Поэтому коэффициент диффузии радона в (1)–(2) может быть представлен в виде некоторой «эквивалентной» величины:

$$D_{\text{экв}} = D_0 \cdot k(\Delta T) \cdot k(\Delta P), \quad (14)$$

где D_0 – объемный коэффициент диффузии радона в соответствующей среде, $\text{м}^2/\text{с}$.

Для определения вида (14) в лаборатории радиационной безопасности в строительстве НИИСФ РААСН разра-



Рис. 2. Внешний вид экспериментальной установки для исследования переноса радона в пористых средах

ботана экспериментальная установка для исследования переноса радона в пористых средах (рис. 2). Особенность конструкции состоит в том, что заполняющий колонну циркониевый концентрат одновременно является и средой переноса радона, и его источником. Данный материал имеет очень высокую удельную активность (более 4500 Бк/кг), не относясь при этом к источникам ионизирующего излучения, требующим специального обращения.

В нижней камере данной установки размещались вводы пневматической и электрической систем, которые позволяли создавать фиксированный перепад температуры и давления на границах пористой среды. Распределение температуры по оси колонны контролировалось погружными термометрами, измерение перепада давления по столбу циркониевого концентрата производилось при помощи дифференциального манометра и запорной арматуры. Предварительно была определена плотность потока радона с поверхности столба концентрата при отсутствии перепада температуры и давления.

В реальных условиях эксплуатации зданий разность температуры в помещении и в почвенном воздухе даже в

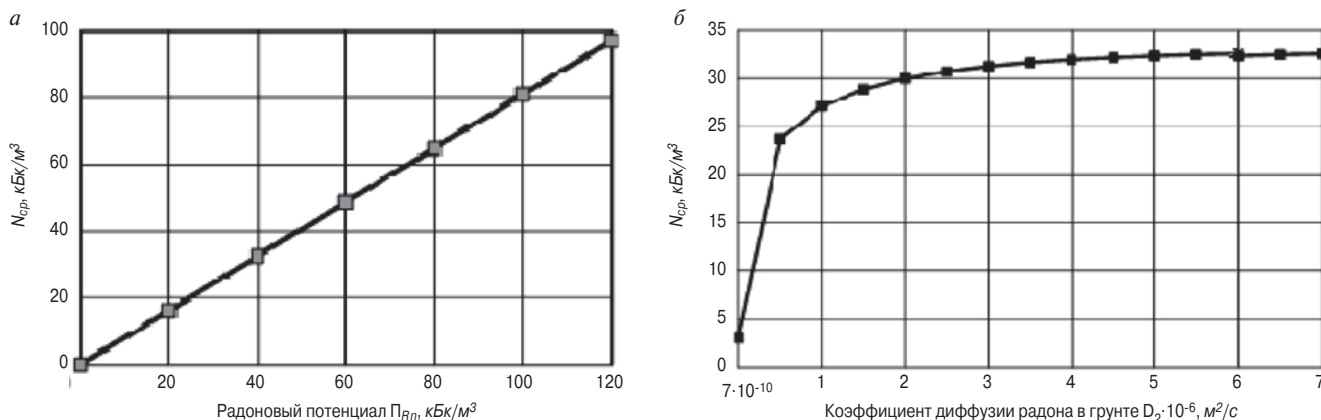


Рис. 3. Зависимость радоновой нагрузки на подземные горизонтальные ограждающие конструкции здания от: а – радонового потенциала грунта; б – коэффициента диффузии радона в грунте D_2

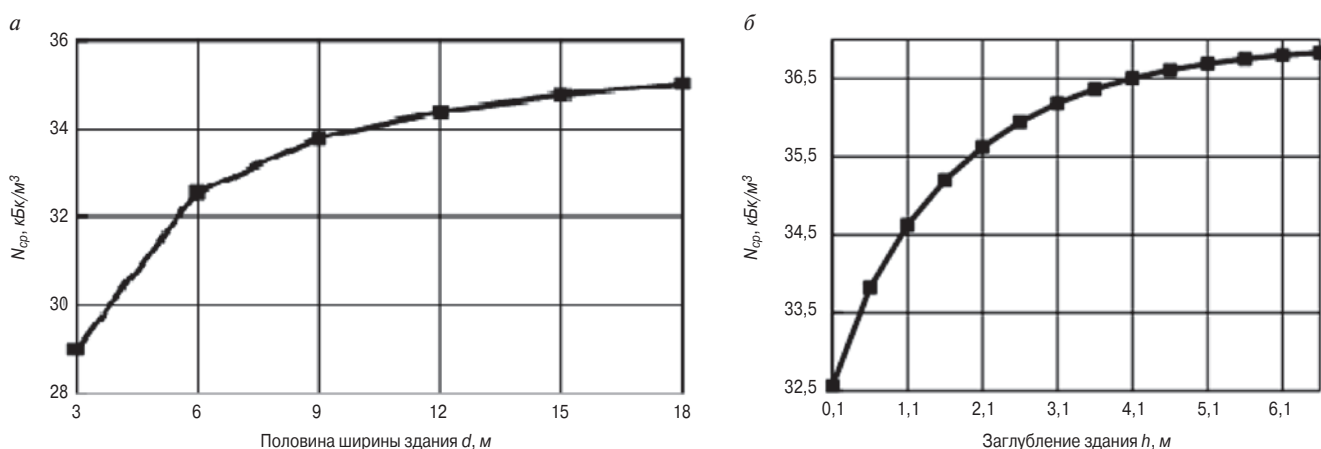


Рис. 4. Зависимость радоновой нагрузки на подземные горизонтальные ограждающие конструкции здания: а – от его ширины; б – от его заглубления

зимнее время не превышает 20–25°C, а разность давления на границах горизонтальной подземной ограждающей конструкции в среднем не более 3–5 Па. В ходе эксперимента статистически значимое увеличение ППР радона с поверхности установки имело место при перепадах давления более 50 Па, что позволяет признать несущественность влияние бародиффузии на перенос радона. Напротив, с увеличением перепада температуры (диапазон измерений 0–55°C, шаг 5°C) величина ППР имела тенденцию к медленному росту. По результатам проведенных исследований было получено следующее выражение для «эквивалентного» коэффициента диффузии:

$$D_{\text{экв}} = (1 + 0,006 \cdot \Delta T) \cdot D_0.$$

Подход с использованием «эквивалентного» коэффициента диффузии радона в дальнейшем может быть использован для расширения области адекватности предложенной модели на конструкции зданий, в которых диффузионный перенос остается доминирующим, но конвекцией уже нельзя пренебречь.

Этап 3. Численный эксперимент

Поскольку до 90% радона поступает из грунтового основания, то радоновая безопасность должна обеспечиваться соответствующей конструкцией и состоянием горизон-

тальных подземных ограждающих конструкций. В общем случае задачу радонобезопасности здания можно свести к ограничению поступления радона из грунта:

$$a_{np} = \frac{N_{cp}}{R_{\Sigma}} \cdot \frac{S_{пол}}{V}, \quad (15)$$

где a_{np} – максимальное допустимое поступление радона через конструкцию пола, Бк/(м³·с); $S_{пол}$ – площадь пола, м²; V – объем помещения, м³, N_{cp} – средняя радоновая нагрузка на горизонтальные подземные ограждающие конструкции, Бк/м³; R_{Σ} – суммарное сопротивление радонопроницанию конструкции пола, с/м.

Величина a_{np} однозначно определяется требуемым значением ЭРОА_{мп} в здании после его постройки и кратностью воздухообмена n в нем, она может быть выражена соотношением:

$$a_{np} = \frac{\text{ЭРОА}_{мп} \cdot (\lambda + n)}{F} - a_{см} \quad (16)$$

где F – коэффициент сдвига радиоактивного равновесия; a_{np} – поступление радона из строительных материалов.

Если в расчетах принять коэффициент сдвига $F = 0,4$ и поступление радона из стройматериалов $a_{см} = 0,1 a_{np}$, то для обеспечения в строящемся здании требуемого значения ЭРОА_{мп} = 100 Бк/м³ поступление радона не должно превышать 25 мБк/(м³·с) при кратности воздухообмена $n = 0,4 \text{ ч}^{-1}$.

Согласно (15) для определения требуемой радонозащитной способности конструкции пола необходимо знать среднюю радоновую нагрузку N_{cp} на подземные ограждающие конструкции. При помощи разработанной математической модели была получена зависимость радоновой нагрузки N_{cp} от физических свойств грунта в основании (его радонового потенциала) и коэффициента диффузии радона в грунте (рис. 3).

Кроме того, был исследован характер зависимости искомой величины N_{cp} от геометрических характеристик здания (рис. 4). Установлено, что увеличение ширины здания приводит к росту радоновой нагрузки на фундамент из-за уменьшения оттока радона из-под здания к дневной поверхности.

Данные эксперименты представляют начальный этап комплексного исследования взаимосвязи параметров состояния системы сред «грунт–атмосфера–здание». В целом же исследования, проведенные в последние годы в лаборатории радиационной безопасности в строительстве НИИ строительной физики РААСН, позволяют сделать следующие выводы:

1. Существует необходимость в разработке эффективного подхода к определению потенциальной радоноопасности участка застройки без использования величины ППР в качестве контрольного параметра.

2. Математическое моделирование в сочетании с лабораторным экспериментом является наиболее эффективным инструментом для описания формирования радоновой обстановки в здании на стадии проектирования.

4. Разработана математическая модель, описывающая перенос радона из грунта в воздух помещений современных зданий с герметичной подземной частью из материалов с низкой воздухопроницаемостью (менее 10^{-14} м²). В то же время представляет практический интерес оценка адекватности данной модели при наличии неплотностей в основании здания. Для оценки их влияния на механизм переноса радона через ограждающие конструкции в лаборатории радиационной безопасности в строительстве НИИСФ РААСН запланирован ряд специальных экспериментов.

Список литературы

1. Сидякин П.А., Янукян Э.Г., Фоменко Н.А., Вахилевич Н.В. Формирование уровней облучения населения региона Кавказских Минеральных Вод за счет радиоактивности горных пород // *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2016. № 1. С. 66–70.
2. Ярмошенко И.В., Онищенко А.Д., Жуковский М.В. Обследование уровней накопления радона в жилых зданиях города Екатеринбурга // *Вопросы радиационной безопасности*. 2010. № 3 (59). С. 62–69.
3. Мирончик А.Ф. Естественные радиоактивные вещества в атмосфере и воздухе жилых помещений Республики Беларусь // *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2007. № 4 (17). С. 162–171.
4. IAEA SAFETY STANDARDS for protecting people and the environment. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation. Draft Safety Guide No. DS421. Vienna, April 2012. 92 p.
5. Arvela N. Residential radon in Finland: sources, variation, modeling and dose comparisons (Academic dissertation) STUK-A124. Helsinki, 1995. 87 p.
6. Гулабянц Л.А. Радоноопасность. Термины, критерии, признаки // *АНРИ*. 2013. № 1. С. 12–14.
7. Микляев П.С. Что делать? Или «радоновый» кризис в радиационных изысканиях // *АНРИ*. 2005. № 3. С. 60–64.
8. Микляев П.С. Механизмы формирования потока радона с поверхности почв и подходы к оценке радоноопасности селитебных территорий // *АНРИ*. 2007. № 2. С. 2–16.
9. Гулабянц Л.А. Принцип построения новых норм проектирования противорадоновой защиты зданий // *Благоприятная среда жизнедеятельности человека. Строительные науки*. 2009. № 5. С. 461–467.
10. Гулабянц Л.А., Калайдо А.В., Семенова М.Н. Оценка влияния эффектов термо- и бародиффузии на перенос радона в пористой среде // *АНРИ*. 2018. № 1. С. 62–69.

References

1. Sidiyakin P. A., Anyan E. G., Fomenko N. A. Vahylevych N. V. The formation of levels of irradiation of the population of the region of Caucasian Mineral Waters due to the radioactivity of rocks. *Izvestiya vysshih uchebnyih zavedeniy. Geologiya i razvedka*. 2016. No. 1, pp. 66–70. (In Russian).
2. Yarmoshenko I.V., Onishchenko D.A., Zhukovsky M.V. A survey of the levels of accumulation of radon in residential buildings in the city of Yekaterinburg. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti*. 2010. No. 3 (59), pp. 62–69. (In Russian).
3. Mironchik A.F. Natural radioactive substances in the atmosphere and air of residential premises of the Republic of Belarus. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta*. 2007. No. 4 (17), pp. 162–171. (In Russian).
4. IAEA SAFETY STANDARDS for protecting people and the environment. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation. Draft Safety Guide No. DS421. Vienna, April 2012. 92 p.
5. Arvela N. Residential radon in Finland: sources, variation, modeling and dose comparisons (Academic dissertation) STUK-a124. Helsinki, 1995. 87 p.
6. Gulabyanz L.A. Radon Danger Level. Terms, criteria, features. *ANRI*. 2013. No. 1, pp. 12–14. (In Russian).
7. Miklyayev P. S. What to do? Or «radon» crisis in radiation surveys. *ANRI*. 2005. No. 3, pp. 60–64. (In Russian).
8. Miklyayev P.S. mechanisms of formation of radon flow from the soil surface and approaches to the assessment of radon danger of residential areas. *ANRI*. 2007. No. 2, pp. 2–16. (In Russian).
9. Gulabyanz L.A. the Principle of development of new standards for the design of radon protection of buildings. *Blagopriyatnaya sreda zhiznedeyatelnosti cheloveka. Stroitelnyie nauki*. 2009. No. 5, pp. 461–467. (In Russian).
10. Gulabyanz L.A., Caleido A.V., Semenova M.N. Impact assessment of the effects of thermal and barodiffusion on the transfer of radon in a porous medium. *ANRI*. 2018. No. 1, pp. 62–69. (In Russian).