

Радоновая безопасность современных многоэтажных зданий различных классов энергетической эффективности

А.В. Васильев, И.В. Ярмошенко, М.В. Жуковский

Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Согласно полученным результатам радонового обследования г. Екатеринбурга, наблюдается значительный рост объемных активностей радона в помещениях зданий с повышенным классом энергоэффективности (B, B+, B++). Существующие в мировой практике рекомендации по использованию механической вентиляции с рекуперацией тепла в качестве основного сценария по снижению повышенных объемных активностей радона в энергоэффективных зданиях не показали очевидного преимущества. В реальной ситуации механическая система вентиляции не используется должным образом как в автоматическом, так и в ручном режимах в климатических условиях Среднего Урала.

Ключевые слова: радон, энергосбережение, защита.

Введение

Несмотря на высокую степень проработки проводимой энергосберегающей политики в строительной области, по-прежнему остаются нерешенными вопросы экологической безопасности строительства в связи с введением энергоэффективных решений в данной отрасли [1–3]. Так, достаточно остро стоит вопрос повышенного накопления загрязняющих и вредных веществ в зданиях, в частности радона. Радон представляет собой природный радиоактивный газ, образующийся в грунте и строительных материалах. Согласно эпидемиологическим данным [4, 5], существует прямая связь между раком легкого и радоном. Радон способен мигрировать и накапливаться в зданиях. Особенности конструкции и эксплуатации различных зданий в значительной степени определяют данные процессы [6].

В России требования к энергосберегающему строительству были установлены государственными органами с 1996 г. В последующие годы были введены новые нормативы, регулирующие сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, удельный расход тепла на отопление и другие параметры, направленные на увеличение энергосбережения. Установление новых норм может привести к применению строительных решений, которые создают условия для повышенного накопления вредных и загрязняющих веществ в новых зданиях. Данные решения включают увеличение теплозащитных свойств ограждающих конструкций, замену устаревших дверей и окон в жилых домах, специальные требования к планировочным решениям помещений, входящих в состав общего домового пользова-

ния. В данной работе сделан акцент на проблеме облучения радоном в современных энергоэффективных зданиях в г. Екатеринбурге. Для этого города характерен высокий уровень энергоемкости, связанный с большой продолжительностью отопительного сезона. В статье проведен анализ влияния параметров объемно-планировочных решений современных многоэтажных зданий г. Екатеринбурга различных классов энергетической эффективности на объемные активности (ОА) радона в жилых помещениях.

Материалы и методы

В анализе были использованы данные радонового обследования [7], дополненные измерениями объемной активности радона в энергоэффективных домах г. Екатеринбурга за последние 5 лет [8, 9]. Общее количество домов в объединенной выборке домов составило 452. Измерения объемной активности радона проводились трековыми детекторами (LR 115). Период измерения составил 2–3 мес. Для определения среднегодового значения ОА радона при необходимости проводилась температурная нормализация [7]. Для каждого из домов был установлен присвоенный класс энергоэффективности, жилая и общая площадь, количество помещений в каждом доме. Общее количество домов с присвоенным на момент исследования классом энергоэффективности составило 65, согласно данным компаний, управляющих ЖКХ. Класс энергоэффективности дома в России определяется по величине отклонения значения удельного расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение здания от нормируемого уровня (табл.).

Васильев Алексей Владимирович

Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук.

Адрес для переписки: 620219, Россия, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: vav@ecko.uran.ru

Класс энергоэффективности здания

[Table

Class of the energy efficiency of the building]

Класс [Class]	Обозначение [Code]	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии от нормативного, % [Deviation of calculated (actual) value of the intensity of the energy discharge from the specified]	Мероприятия, рекомендуемые органам администраций субъектов РФ [Recommended actions for the organs of the administrations in the regions of Russian Federation]
Наименование [Name]			
При проектировании и эксплуатации новых, реконструируемых, модернизируемых зданий [For the design and maintenance of new, reconstructed and renovated buildings]			
Очень высокий [Very high]	A+	Ниже -60 От -45 до -59,9 [below -60 from -45 to -59,9]	Экономическое стимулирование [Economical motivation]
	A		
Высокий [High]	B++	От -35 до -44,9 От -25 до -34,9	Экономическое стимулирование в зависимости от года строительства [Economical motivation based on the year of the construction]
	B+	От -10 до -24,9	
	B	[from -35 to -44,9 from -25 to -34,9 from -10 to -24,9]	
Нормальный [Normal]	C	От +5 до -9,9 [from +5 to -9,9]	-
При эксплуатации существующих зданий [For the maintenance of the existing buildings]			
Пониженный [Lowered]	D	От +5,1 до +50 [from +5,1 to +50]	Желательна модернизация здания после 2020 г. [Renovation of the building after 2020 is recommended]
Низкий [low]	E	Более +50 [above+50]	Необходимо немедленное утепление здания [Immediate heat insulation of the building is required]

Более детальные исследования были проведены в одном доме с наивысшим классом энергоэффективности «А». Данный дом отличается отсутствием системы водяного отопления и наличием системы механической вентиляции с рекуперацией тепла. Отопление в доме осуществляется посредством теплых электрических полов. В данном доме измерения ОА радона и разности температур между внутренним объемом помещения и наружной атмосферой проводились в квартире на первом этаже в течение 1,5 мес. с шагом в 1 ч (с января по март 2017 г.). В качестве средства измерения был использован радон-монитор AlphaGUARD. Измерения проводились в холодное время года. Разность температур между внутренним объемом помещения и наружной атмосферой составила от 25 до 45 °С. Это позволило определить доминирующий механизм поступления радона в помещение и скорость данного поступления методами, предложенными ранее в работах [8, 10]. Также вышеуказанными методами были определены скорость поступления радона и кратность воздухообмена помещения в стационарном режиме эксплуатации. Кратность воздухообмена в активном режиме эксплуатации была принята равной одному обмену в час, согласно данным паспорта на вентиляционную систему.

Результаты и обсуждение

На основании полученных в ходе анализа данных была построена диаграмма, демонстрирующая распределе-

ние значений ОА радона в жилищах г. Екатеринбурга в зависимости от класса энергоэффективности (рис. 1). Согласно полученным результатам, наблюдается значительный рост ОА радона в помещениях зданий с повышенным классом энергоэффективности (B, B+, B++).

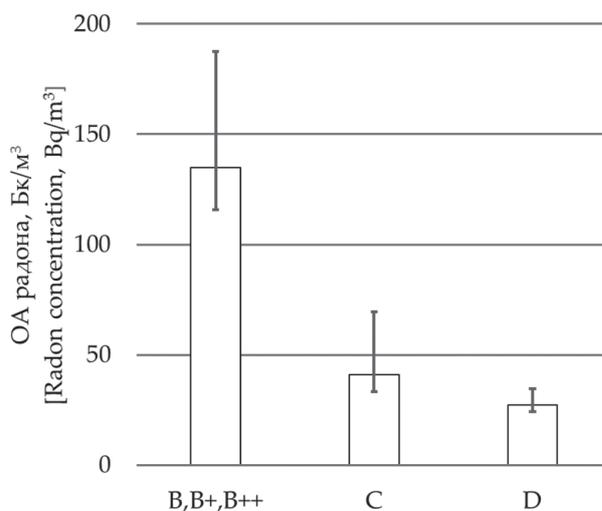


Рис. 1. Значение ОА радона в зданиях г. Екатеринбурга в зависимости от класса энергоэффективности [Fig. 1. Ranges of the volume activities of the radon in the buildings of Ekaterinburg based on their energy efficiency class]

Увеличение уровней ОА радона в современных зданиях связано с новыми технологиями строительства. Использование различных технологий и различных типов ограждающих конструкций (железобетонных панелей, кирпича, монолитного бетона и пр.) может приводить к значительным различиям в уровнях ОА радона. Как было показано ранее в работе [10], самые низкие ОА радона в помещениях были достигнуты в период с 1970 по 1989 г. в панельных домах. Дома указанных годов постройки отличается высокое значение отношения жилой к общей площади помещений здания. При этом места общедомового пользования (лифтовые, общедомовые площадки, колясочные и пр.) и некоторые офисные помещения в новых домах, как правило, отличается низкий воздухообмен, в особенности в холодный период года. Увеличение ОА радона в нежилых помещениях здания с низким воздухообменом повышает общий уровень ОА радона в здании. Косвенным подтверждением данной гипотезы является приведенная на рисунке 2 зависимость, демонстрирующая влияние объемно-планировочного решения на достигнутые значения ОА радона в обследованных помещениях.

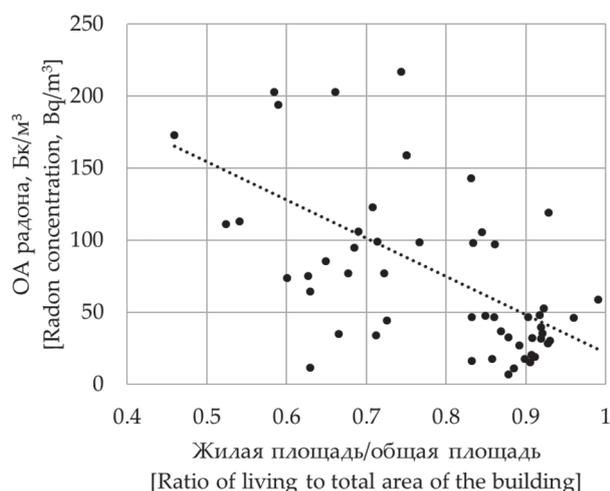


Рис. 2. Значение ОА радона в зависимости от объемно-планировочного решения здания
[Fig. 2.] Values of the volume activity of the radon based on the layout and arrangement of the buildings]

Согласно [10], доля современных панельных домов, возведенных за период с 2001 по 2013 г., не превышает 30% от общего числа домов, построенных за этот период. Таким образом, увеличение количества зданий с высоким классом энергоэффективности и возведенных с использованием современных объемно-планировочных решений способствует повышению среднего городского уровня ОА радона, что противоречит концепции планомерного снижения облучения населения радоном.

По результатам мониторирующих измерений ОА радона в доме с классом энергоэффективности «А» было получено среднее значение ОА радона 130 Бк/м³. Также была проведена оценка скорости поступления радона. Скорость поступления радона по результатам анализа была неизменна от ΔT в диапазоне от 25 до 45 °С и составила в среднем 35 Бк/(м³·ч). Такая оценка полностью соответствует значениям, полученным ранее для других энергоэффективных домов в г. Екатеринбурге [9].

Существенное влияние на величину ОА радона оказывает скорость воздухообмена между внешней средой и помещением [8]. Основными причинами возникновения воздухообмена между внутренним объемом здания и внешней атмосферой при отсутствии источников принудительной вентиляции являются разность температур между внутренним объемом помещений и наружной атмосферой и ветровой напор. Как было показано в работах [9, 10], значение кратности воздухообмена помещений с естественной системой вентиляции находится в стационарном режиме эксплуатации на достаточно низком уровне – 0,2–0,3 обмена в час. Для дома с классом энергоэффективности «А» был получен аналогичный результат (рис. 3).

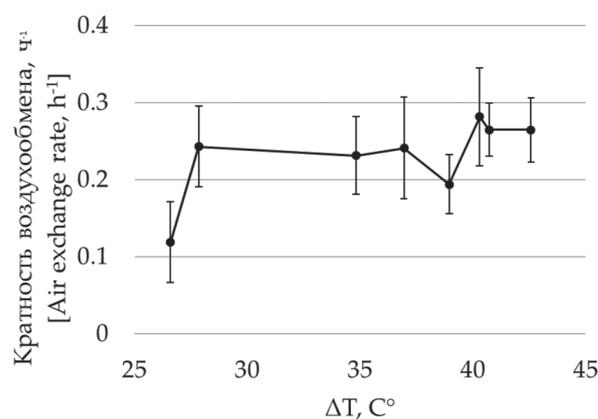


Рис. 3. Кратность воздухообмена помещения в зависимости от разности температур между внутренним объемом помещения и наружной атмосферой (указаны средние значения и стандартные отклонения)

[Fig. 3.] Air exchange rate of the housing dependent of the differences of the temperature between the inner volume of the housing and outside air given as mean±standard deviation]

При этом в работах [2, 3, 11] в качестве основного сценария снижения повышенных ОА радона в помещениях рассматривается применение механических систем принудительной вентиляции с рекуперацией тепла. Однако в условиях климата Среднего Урала в г. Екатеринбурге применение таких систем не показало очевидного преимущества с точки зрения снижения концентраций загрязняющих веществ.

Заключение

Согласно полученным результатам, наблюдается значительный рост ОА радона в помещениях зданий с повышенным классом энергоэффективности. В 4 обследованных жилых помещениях в зданиях с высоким классом энергоэффективности из 17 обнаружена ОА радона, при которой среднегодовая ЭРОА изотопов радона будет превышать величину 100 Бк/м³. По результатам проведенных исследований кратность воздухообмена помещений энергоэффективных зданий остается недостаточной по причине низкой воздухопроницаемости ограждающих конструкций, входных дверей и окон. Основным типом вентиляции в новых жилых зданиях в г. Екатеринбурге является естественная вентиляция. Жильцы вынуждены

контролировать воздухообмен помещений открытием окон или вентиляционных проточных клапанов (если они предусмотрены). В свою очередь, информационно-разъяснительная работа с населением в отношении энергосбережения ведется в контексте снижения затрат на услуги ЖКХ. В частности, в отношении систем вентиляции населению рекомендуют не оставлять форточки постоянно открытыми, а механическую вентиляцию постоянно включенной.

Зачастую требуемый воздухообмен не обеспечивается жильцами как по соображениям комфорта (в холодное время года), так и по соображениям экономии электроэнергии (в случае применения приточно-вытяжных систем вентиляции). Для увеличения воздухообмена помещений без ухудшения условий проживания и снижения энергозатрат может быть рекомендовано использование рекуперации тепла в системах вентиляции (т.е. системы, позволяющей существенно экономить тепловую энергию посредством обогрева входящего свежего воздуха исходящим без их смешения). Однако само по себе применение таких систем вентиляции не является достаточным, поскольку зачастую приточная система вентиляции используется не по графику и не в автоматическом режиме, что не дает очевидного преимущества перед естественным проветриванием.

Литература

1. Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*. 2008; 40: 394–398.
2. Milner J, Shrubsole C, Das P, Jones B, Ridley I, Chalabi Z, Hamilton I, Armstrong B, Davies M, Wilkinson P. Home energy efficiency and radon related risk of lung cancer: modelling study. *BMJ*. 2014; 348: 1–12.
3. Santos Hugo RR, Leal Vitor MS. Energy vs. ventilation rate in buildings: A comprehensive scenario-based assessment in the European context. *Energy and Buildings*. 2012; 54: 111–121.
4. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H [et al.] Radon in homes and lung cancer risk: a collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*. 2005; 330: 223–227.
5. Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M [et al.] Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of seven North American case-control studies. *Epidemiology*. 2005; 16: 137–145.
6. Ярмошенко, И.В. Радон как фактор облучения населения России / И.В. Ярмошенко // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. – Т. 2 (18). – С. 108–116.
7. Yarmoshenko I, Onishchenko A, Zhukovsky M. Establishing a regional reference indoor radon level on the basis of radon survey data. *J Radiol Prot*. 2013; 33: 329–338.
8. Васильев, А.В. Радонная безопасность современных многоэтажных зданий / А.В. Васильев, И.В. Ярмошенко, М.В. Жуковский // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2014. – Т. 3(7). – С. 19–25.
9. Vasilyev A., Yarmoshenko I. Effect of energy-efficient measures in building construction on indoor radon in Russia. *Rad Prot Dosim*. 2016; 174: 419–422.
10. Yarmoshenko I, Vasilyev A, Onishchenko A, Kiselev S, Zhukovsky M. Indoor radon problem in energy efficient multi-storey buildings. *Radiat Prot Dosim*. 2014; 160: 53–55.
11. Collignan B, Lorkowski C, Améon R. Development of a methodology to characterize radon entry in dwellings. *Building and Environ*. 2012; 57: 176–183.

Поступила: 13.02.2018

Васильев Алексей Владимирович – кандидат технических наук, научный сотрудник Института промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук. **Адрес для переписки:** 620219, Россия, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: vav@ecko.uran.ru

Ярмошенко Илья Владимирович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора Института промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Жуковский Михаил Владимирович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, директор Института промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Для цитирования: Васильев А.В., Ярмошенко И.В., Жуковский М.В. Радонная безопасность современных многоэтажных зданий различных классов энергетической эффективности // *Радиационная гигиена*. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 80–84. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-80-84.

Radon safety of modern multi-storey buildings with different energy efficiency classes

Aleksey V. Vasilyev, Ilya V. Yarmoshenko, Mikhail V. Zhukovsky

Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

According to results of the survey in Ekaterinburg, Russia, indoor radon concentrations above the city average level have been found in each of the studied buildings with high energy efficiency class. Measures to increase energy efficiency were confirmed to decrease the air exchange rate and accumulation of high radon concentrations indoors. Despite of recommendations to use mechanical ventilation with heat recovery as the main scenario for reducing elevated radon concentrations in energy-efficient buildings, the use of such systems did not show an obvious advantage. In real situation, mechanical ventilation system is not used properly both in the automatic and manual mode, which does not give an obvious advantage over the natural ventilation in the climate of the Middle Urals in Ekaterinburg.

Key words: radon, energy efficiency, protection.

References

1. Prez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*. 2008; 40: 394–398.
2. Milner J, Shrubsole C, Das P, Jones B, Ridley I, Chalabi Z, Hamilton I, Armstrong B, Davies M, Wilkinson P. Home energy efficiency and radon related risk of lung cancer: modelling study. *BMJ*. 2014; 348: 1–12.
3. Santos Hugo RR, Leal Vítor MS. Energy vs. ventilation rate in buildings: A comprehensive scenario-based assessment in the European context. *Energy and Buildings*. 2012; 54: 111–121.
4. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios J M, Baysson H [et al.] Radon in homes and lung cancer risk: a collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*. 2005; 330: 223–227.
5. Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M [et al.] Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of seven North American case-control studies. *Epidemiology*. 2005; 16: 137–145.
6. Yarmoshenko I.V. Radon as a factor of the exposure of the Russian population. *Biosfernaja sovmetimost: chelovek, region, tehnologii = Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2017, Vol. 2 (18), pp. 108–116. (In Russian).
7. Yarmoshenko I, Onishchenko A, Zhukovsky M. Establishing a regional reference indoor radon level on the basis of radon survey data. *J Radiol Prot*. 2013; 33: 329–338.
8. Vasilyev A.V., Yarmoshenko I.V., Zhukovsky M.V. Radon safety of the modern multi-storey buildings, *Biosfernaja sovmetimost: chelovek, region, tehnologii = Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2014, Vol. 3(7), pp. 19–25. (In Russian).
9. Vasilyev A, Yarmoshenko I, Effect of energy-efficient measures in building construction on indoor radon in Russia. *Rad Prot Dosim*. 2016; 174: 419–422.
10. Yarmoshenko I, Vasilyev A, Onishchenko A, Kiselev S, Zhukovsky M. Indoor radon problem in energy efficient multi-storey buildings. *Radiat Prot Dosim*. 2014; 160: 53–55.
11. Collignan B, Lorkowski C, Améon R. Development of a methodology to characterize radon entry in dwellings. *Building and Environ*. 2012; 57: 176–183.

Received: February 13, 2018

For correspondence: Aleksey V. Vasilyev – Candidate of Technical Science, Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Sofia Kovalevskaya Str., 20, Ekaterinburg, 620219, Russia ; Email: vav@ecko.uran.ru)

Ilya V. Yarmoshenko – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Deputy Director, Senior Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Mikhail V. Zhukovsky – Doctor of Technical Science, Professor, Director, Chief Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

For citation: Vasilyev A.V., Yarmoshenko I.V., Zhukovsky M.V. Radon safety of modern multi-storey buildings with different energy efficiency classes. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No 1, pp. 80-84. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-80-84.

Aleksey V. Vasilyev

Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Address for correspondence: Sofia Kovalevskaya Str., 20, Ekaterinburg, 620219, Russia; Email: vav@ecko.uran.ru