

Принцип оценки среднегодовой ЭРОА радона в зданиях по результатам краткосрочных измерений

А.А. Цапалов¹, А.П. Ермилов¹, Л.А. Гулябниц², А.Т. Губин³, С.И. Кувшинников⁴

¹ Научно-технический центр «АМПЛИТУДА», Москва, Зеленоград

² Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, Москва

³ ФГУП «Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства России», Москва

⁴ ФГУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора», Москва

Проблема достоверной оценки среднегодового содержания радона в помещениях новых зданий по данным краткосрочных измерений до сих пор актуальна. Задача состоит в определении соответствующих реальным условиям значений коэффициента временных вариаций радона. С этой целью проанализированы два принципиально различающихся подхода в методологии исследования и учета закономерностей вариаций ЭРОА радона в закрытых помещениях зданий. На основе результатов экспериментальных наблюдений показано, что при оценке среднегодовых уровней ЭРОА радона наиболее эффективен принцип, учитывающий соотношения текущей и среднегодовой разностей температуры воздуха внутри помещения и снаружи здания. Предложенный принцип целесообразно использовать при разработке усовершенствованной методики радонового контроля зданий.

Ключевые слова: радон, ЭРОА радона, вариации радона, среднегодовое содержание радона в помещении, температура воздуха, разность температур, среднегодовая температура, закрытое помещение, новое здание.

В современных условиях более половины всей эффективной дозы население получает от радона и его дочерних продуктов (ДПР), всегда присутствующих в воздухе помещений. Их вклад в дозу, в отличие от вклада других природных источников ионизирующего излучения, можно снизить. Поэтому в развитых странах с 1970-х гг. стали уделять все большее внимание исследованиям и регулированию радоновой обстановки в жилищах. В Федеральном законе «О радиационной безопасности населения» [1] впервые в нашей стране на законодательном уровне были установлены требования, касающиеся обеспечения радионобезопасности населения. Они конкретизированы в выпущенных впоследствии нормах радиационной безопасности в виде ограничений на среднегодовую эквивалентную равновесную объемную активность (ЭРОА) радона в помещениях отдельно для существующих и для вновь построенных (или реконструированных) зданий. Однако приемлемого для радиационного контроля решения задачи корректного определения среднегодовых значений ЭРОА, подверженной существенным суточным и сезонным вариациям, пока не найдено.

В настоящее время в отечественной практике контроль радионобезопасности осуществляется согласно методическим указаниям МУ 2.6.1.715-98 [2] преимущественно в новых зданиях перед их вводом в эксплуатацию. Заключение об их радиационном состоянии выносится органами Роспотребнадзора на основе результатов краткосрочных измерений ЭРОА радона во всех помещениях (или выборочно) после определенного времени их выдерживания с закрытыми окнами и дверями (далее – закрытые помещения). Согласно [2], оценку верхней границы среднегодового значения ЭРОА изотопов радона определяют по формуле:

$$\overline{ЭРОА}_{\max} = K_{Rn} \cdot (ЭРОА_{Rn} + \Delta_{Rn}) + 4,6 \cdot (ЭРОА_{Tn} + \Delta_{Tn}), \quad (1)$$

где ЭРОА и Δ – результаты и погрешности краткосрочных измерений ЭРОА радона и торона в воздухе помещений, Бк/м³;

K_{Rn} – значения коэффициентов вариации ЭРОА радона, приводимые в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты вариации ЭРОА радона [2]

Сезон года	Продолжительность измерений			
	менее 1 часа	1 – 3 суток	1 – 2 недели	1 – 3 месяца
Теплый	3,0	2,3	1,8	1,5
Холодный	1,5	1,1	0,95	0,75

По сути, коэффициент вариации выполняет функцию некоего коэффициента запаса, учитывающего то обстоятельство, что примерно в половине практических случаев ЭРОА, получаемые в результате краткосрочных измерений, оказываются ниже среднегодовых значений.

Главный недостаток методики [2] обусловлен несоответствием принятых значений коэффициентов вариации реальным условиям. Так, при использовании значения $K_{Rn} = 3$ получаемое оценочное значение $\overline{ЭРОА}_{\max}$

намного превышает его действительное среднегодовое значение. Чрезмерное завышение этого коэффициента отмечается в работе [3]. Более того, результаты специально проведенных исследований [4–7] указывают на то, что сезонные значения коэффициентов в таблице 1, по-видимому, перепутаны местами. Согласно полученным в [4, 5] результатам, наибольшая концентрация радона в закрытых помещениях наблюдается в летний период. Следуя [2], для

определения среднегодового значения эти результаты должны быть увеличены еще в 3 раза. Для зимнего периода, когда содержание радона в закрытых помещениях наиболее низкое в году, наоборот, установлен наименьший коэффициент вариации.

Как показано в [5–7], частные значения ЭРОА радона в закрытых помещениях в течение суток могут различаться почти в 4 раза, а в течение недели, месяца или сезона – еще больше. В [4] установлено, что определяющее влияние на величину этих различий оказывает интенсивность естественного воздухообмена в закрытых помещениях, в свою очередь, зависящая от разности температуры (следовательно, плотности) воздуха внутри и вне помещений.

Очевидно, что назрела острая необходимость переработки устаревших МУ 2.6.1.715-98 с учетом накопленных знаний и практического опыта. Наиболее актуальным является определение соответствующих реальным условиям значений коэффициента вариации радона, а также усовершенствование самой методики выполнения контроля. Для решения этой задачи примерно с 2005 г. в НИИ радиационной гигиены (г. Санкт-Петербург) и НТЦ «АМПЛИТУДА» (г. Москва, Зеленоград) проводятся исследования, в которых используются принципиально разные подходы.

Специалисты НИИ радиационной гигиены исходят из предположения, что «совокупность краткосрочных измерений в большом числе домов», обследованных в разные периоды года, можно рассматривать как «годовой мониторинг радона в одном доме» [3]. При этом для определения сезонных значений коэффициента вариации используют данные экспрессных измерений ЭРОА радона, накопившиеся в ходе многолетнего производственного контроля в домах-новостройках Санкт-Петербурга в летний или зимний сезоны. На основе результатов статистического анализа достаточно внушительной выборки таких данных был сделан вывод об отсутствии сезонных вариаций радона в закрытых помещениях незаселенных домов-новостроек. Было получено, что усредненный разброс значений ЭРОА радона в помещениях, независимо от сезонности, этажности зданий и материалов ограждающих их конструкций, составил всего 16–20 Бк/м³. Столь неожиданный вывод противоречит более чем тридцатилетнему опыту радионного контроля в развитых странах мира [8–13], а также результатам исследований, проводящихся и в России [4–7, 14]. В [3] это противоречие объясняется принципиальным отличием радоновой обстановки в используемых по назначению без каких-либо ограничений (далее – эксплуатируемых) зданиях от обстановки в новых незаселенных домах.

Авторы [3] сами отмечают, что к результатам статистического анализа большого набора результатов краткосрочных измерений ЭРОА радона в разных домах в случайные дни как к модели годового мониторинга в одном доме следует относиться «с определенной осторожностью». К сожалению, раскрытию причин этого предостережения должного внимания не уделено, а заключаются они, по нашему мнению, в следующем.

1. Массив исходных данных для анализа включает в себя результаты измерений, полученные в ходе рутинного производственного контроля, осуществляемого в соответствии с МУ 2.6.1.715-98. Одним из основных условий выполнения таких измерений является выдержка помещений закрытыми в течение не менее 12 часов. Известно, что проверяю-

щий, как правило, лично не участвует в подготовке помещений здания к предстоящим обследованиям. Поэтому на практике это условие не всегда соблюдается.

2. В работе не приведены типы использовавшихся в ходе контроля средств измерений, поэтому нет возможности оценить точность результатов измерений и тем более достоверность сделанных выводов.

Основание для данного замечания – низкое качество аппаратного и метрологического обеспечения радоновых измерений в России. Еще в 2003 г. лабораториями радиационного контроля Красноярского края были проведены сличительные испытания наиболее распространенных в нашей стране средств измерения объемной активности радона (типа РРА-01М). По итогам сличений лишь 3 радиометра из 17 выдержали испытания, при этом показания остальных радиометров были занижены от 2 до 7 раз [15]. Принципиальных изменений в конструкцию приборов указанного типа, устраняющих занижение результатов измерения, до сих пор не внесено, а повторные сличения больше не проводились.

3. Предположение, что «...если здание в течение определенного времени выдержать с закрытыми окнами и дверями, то в воздухе помещений практически отсутствуют суточные и сезонные изменения содержания радона» экспериментально не подтверждается. Еще раз напомним, что при краткосрочных измерениях (менее часа) в случайные моменты времени суточные вариации ЭРОА радона в закрытых помещениях могут достигать 400%, а в разные сезоны года – 1000% [4-7].

4. Использованный авторами [3] подход к выборке домов некорректен. Включать в выборку следовало бы только те дома, в помещениях которых среднегодовой уровень ЭРОА был не ниже хотя бы 40 Бк/м³. Дело в том, что в течение года для подавляющего большинства помещений эксплуатируемых или новых незаселенных зданий наиболее характерны низкие значения ЭРОА радона (5–20 Бк/м³), т. е. практически сравнимые с ЭРОА в наружном воздухе (5–10 Бк/м³). Очевидно, что, когда значимым источником радона и его ДГР является наружный воздух, сезонные вариации радона в помещениях практически отсутствуют.

5. Утверждение авторов [3] о принципиальном отличии эксплуатируемых зданий от закрытых домов-новостроек вызывает следующее возражение. Характер вариаций радона в воздухе помещений эксплуатируемых и закрытых зданий не всегда различен, причем количественно устанавливать степень возможного различия совсем не требуется. Связано это с тем, что присутствие людей в эксплуатируемом здании способно существенно изменить воздухообмен в его помещениях по сравнению с закрытым зданием лишь в том случае, если наблюдается нарушение стабильности воздушно-теплового режима в помещениях (индикатор степени их герметизации). Если в помещениях не происходит резких перепадов температуры, то изменения естественного воздухообмена и вариации радона в этих помещениях обусловлены только изменением погодных условий независимо от состояния здания (эксплуатируемое или закрытое). В этом смысле офисное или производственное эксплуатируемое здание в выходные дни (рабочий процесс временно остановлен) ничем не отличается от закрытого. Более того, опыт показывает, что во многих помещениях, где присутствуют люди, воз-

душно-тепловой режим может оставаться стабильным в течение длительного времени (до тех пор, пока не открыто окно, включен кондиционер или дополнительный обогреватель).

Из сказанного следует, что если в процессе подготовки и проведения контроля в помещениях зданий обеспечивается стабильный воздушно-тепловой режим, то принципиального различия между эксплуатируемыми и закрытыми зданиями нет. Здесь уместно отметить, что проведение радонового контроля в закрытом незаселенном здании уже предполагает определенный запас надежности вывода о его радиационном качестве. Ведь после ввода здания в эксплуатацию среднегодовое содержание радона и ЭРОА в его помещениях снижается. Это обуславливается увеличением естественного воздухообмена в зданиях после их сдачи в эксплуатацию в результате повседневной деятельности людей.

Известно, что наибольшее влияние на естественный воздухообмен в помещениях оказывает тепловой (или гравитационный) напор на оболочку здания [16], а его сила характеризуется величиной разности температур воздуха внутри и снаружи здания. Кроме того, установлено [4, 6, 7], что скорость поступления радона в помещения здания из его грунтового основания и ограждающих конструкций незначительно меняется во времени. Поэтому характер вариаций ЭРОА радона в помещении, в основном, зависит от направления и интенсивности воздухообмена в помещении, который в решающей мере определяется величиной разности температур (следовательно, разности плотности) наружного и внутреннего воздуха.

С целью разработки подхода к учету влияния указанного выше фактора на соотношение текущих и среднегодовых значений ЭРОА радона НТЦ «АМПЛИТУДА» при участии Федерального центра Роспотребнадзора (г. Москва) с 2005 г. путем долговременного непрерывного мониторинга исследовалась зависимость вариаций радона и его ЭРОА в двух закрытых помещениях (подвальном и чердачном) разных зданий от температуры воздуха [4, 5]. В 2009 г. НТЦ «АМПЛИТУДА» в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и на период до 2015 г.» разработана и в настоя-

щее время при поддержке ФМБА России реализуется специальная программа измерений [6, 7] в целях дополнительной проверки, уточнения и обоснования показанных в [4, 5] результатов. Дело в том, что, помимо основной зависимости интенсивности воздухообмена в помещении от разности температуры, безусловно, существует его дополнительная зависимость от воздухопроницаемости ограждающих конструкций помещения (главным образом, окон) и отношения размеров световых проемов к объему помещения. Для учета действия этих факторов потребовалось проведение дополнительных долговременных исследований еще в нескольких специально подобранных помещениях различного типа в других зданиях [6, 7].

Измерения по вышеупомянутой программе продолжаются, однако накопленные результаты уже сейчас позволяют предложить принцип оценки среднегодового значения ЭРОА радона в помещении по результатам краткосрочных измерений, выражаемый с помощью формулы [5]:

$$\overline{\text{ЭРОА}} = \frac{\text{ЭРОА}_{\text{изм}}}{K(\theta) + 1}, \quad (2)$$

где $\text{ЭРОА}_{\text{изм}}$ – измеренное значение ЭРОА радона в закрытом помещении, Бк/м³;

$K(\theta)$ – коэффициент, выражающий отклонение измеренного значения ЭРОА радона от среднегодового (рис. 1), отн. ед.;

$$\theta = \frac{T_{\text{в}} - T_{\text{н}}}{T_{\text{с}} - T_{\text{н}}} - 1$$

– разность температур внутреннего и наружного воздуха в безразмерном виде ($\overline{T_{\text{в}}} - \overline{T_{\text{н}}} > 5^\circ\text{C}$);

$T_{\text{в}}, \overline{T_{\text{в}}}$ – измеренная и расчетная среднегодовая температура воздуха внутри помещения, $^\circ\text{C}$;

$T_{\text{н}}, \overline{T_{\text{н}}}$ – измеренная и расчетная среднегодовая температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$.

Данные о величинах $\overline{T_{\text{н}}}$ для различных географических пунктов России содержатся в СНиП «Строительная климатология» [17]. Значение $\overline{T_{\text{в}}}$ принимается для помещений определенного назначения по соответствующим санитарным нормам и правилам.

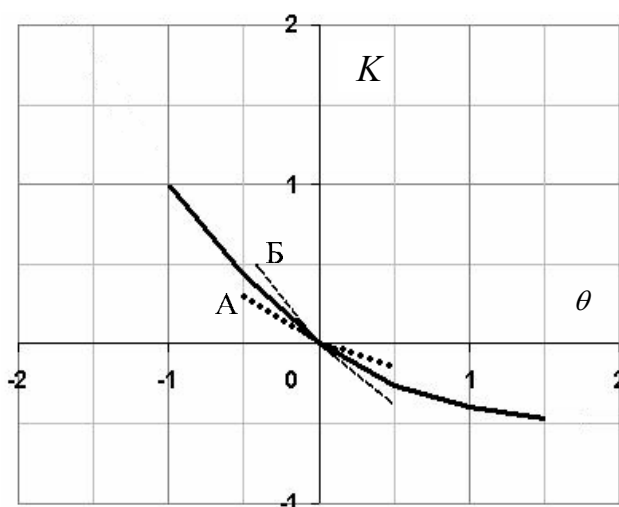


Рис. 1. Зависимость коэффициента K от безразмерной разности температур θ

Связь между величинами $\overline{ЭРОА}_{изм}$ и $\overline{ЭРОА}$ учитывается с помощью коэффициента, зависящего от степени отклонения текущей, т.е. соответствующей времени проведения измерений, разности температуры внутреннего и наружного воздуха от ее среднегодовой величины. Осуществляется это с помощью входящего в (2) коэффициента K , зависимость которого от безразмерной разности температуры q показана на рисунке 1 сплошной линией.

Из формулы (2) и рисунка 1 можно видеть, что при $q = 0$, т.е. равенстве текущей и среднегодовой разностей температуры (или в гипотетическом случае, когда температуры внутреннего и наружного воздуха в течение всего года постоянны), результаты краткосрочного измерения ЭРОА радона равны его среднегодовому значению. С увеличением абсолютного значения $|q|$ неопределенность оценки $\overline{ЭРОА}$ возрастает, что соответствует условиям выполнения измерений в жаркие или морозные дни. Неопределенность такой оценки обусловлена разнообразием характеристик помещений и их ограждающих конструкций, т.е. различием условий воздухообмена в разных помещениях с внешней средой при одинаковых погодных условиях. Такая неопределенность отражается на поведении функции $K(q)$, которая для относительно герметичных помещений с пониженным (в среднем за год) воздухообменом имеет вид показанной на рисунке 1 пунктирной кривой «А», а в случае помещений с интенсивным естественным воздухообменом – вид пунктирной кривой «Б».

Таким образом, наиболее достоверные результаты оценки $\overline{ЭРОА}$ следует ожидать при выполнении условия $|\theta| < 0,5$, что имеет место, когда измерения проводятся в весенний или осенний сезоны. Дополнительная возможность снижения неопределенности оценки $\overline{ЭРОА}$ заключается в увеличении продолжительности измерения величины $\overline{ЭРОА}_{изм}$, а также температуры внутреннего и наружного воздуха.

Проведенный анализ двух принципиально различающихся подходов к исследованию и учету закономерностей вариаций ЭРОА радона в закрытых помещениях зданий и полученных на основе этих подходов результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. При изучении сезонных вариаций радона в помещениях неэксплуатируемых зданий некорректно приравнивать набор результатов краткосрочных рутинных измерений ЭРОА радона по устаревшей методике [2] в случайные дни в разных домах, тем более с фоновым содержанием радона, результатам годового мониторинга в одном доме. Для этих целей необходим длительный (по меньшей мере, в течение года) мониторинг в специально подобранных закрытых помещениях с повышенной (предпочтительно до нормативного уровня или выше) среднегодовой ЭРОА радона.

2. Предложен новый принцип (формула (2)) оценки среднегодовой ЭРОА радона в зданиях по результатам краткосрочных измерений, основанный на учете зависимости ЭРОА радона в помещении от разности температуры воздуха внутри этого помещения и снаружи здания. Принцип базируется на известных закономерностях строительной теплофизики, а его работоспособность подтверждена результатами экспериментальных наблю-

дений в специально подобранных помещениях. Целесообразно рассматривать его в качестве основы при разработке усовершенствованной методики радонового контроля зданий.

Литература

1. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон №3-ФЗ от 09.01.1996. «О радиационной безопасности населения» (с изменениями от 22 августа 2004 г., 23 июля 2008 г.): принят Государственной Думой 5 декабря 1995 г.
2. Методические указания «Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий» (МУ 2.6.1.715 – 98): утв. Минздрав России от 24.08.1998. – СПб.: ЛЮБАВИЧ, 1998. – 29 с.
3. Стамат, И.П. К обоснованию требований к контролю показателей радиационной безопасности зданий и сооружений при сдаче их в эксплуатацию / И.П. Стамат [и др.] // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 4. – С. 10–15.
4. Цапалов, А.А. Кувшинников объемной активности радона в помещениях от разности внутренней и наружной температур воздуха / А.А. Цапалов // АНРИ. – 2008. – № 2. – С. 37–43.
5. Цапалов, А.А. Оценка среднегодового уровня ЭРОА радона в помещениях на основе результатов краткосрочных измерений радиометром «АльфаАЭРО» / А.А. Цапалов, С.И. Зависимость // АНРИ. – 2008. – № 3. – С. 49–58.
6. Экспериментальное определение зависимости динамики ЭРОА в помещениях от параметров воздушной среды: отчет о НИР ООО «НТЦ АМПЛИТУДА». – Москва, Зеленоград, 2009. – 62 с.
7. Цапалов, А.А. Системное исследование динамики ЭРОА радона в помещениях и принципы контроля / А.А. Цапалов // АНРИ. – 2010. – № 2. – С. 2–14.
8. Steck, D.J. Indoor radon exposure uncertainties caused by temporal variation / D.J. Steck [et al.] // Physics Department, St. John's University, Collegeville, MN 56321 USA E-mail: dsteck@csbsju.edu.
9. Lembrechts, J. Ventilation and radon transport in Dutch dwellings: computer modeling and field measurements / J. Lembrechts, M. Janssen, P. Stoop // The Science of the Total Environment 272. – 2001. – P. 73–78.
10. Hubbard, L.M. Studies on temporal variations of radon in Swedish single family houses / L.M. Hubbard, H. Mellander, G.A.Swedjemark // Environ. – Int. 22 (Suppl. 1). – 1996. – P. 715–722.
11. Arvela, H. Seasonal variation in radon concentration of 3000 dwellings with model comparisons / H. Arvela // Radiat. Prot. Dosim. – 1995. – 59 (1). – P. 33–42.
12. Majborn, B. Seasonal variation of radon concentration in single-family houses with different sub-structures / B. Majborn // Radiat. Prot. Dosim. – 1992. – 45(1/4). – P. 443–447.
13. Smithard, J. Factors affecting seasonal variation in radon / J. Smithard: Health Protection Agency, Environmental Radon Newsletter, Summer 2009. issue 59, – P. 4. – E-mail: jane.smithard@hpa.org.uk.
14. Пахолкина, О.А. Оценка среднегодовых и средних многолетних значений ЭРОА радона в помещениях / О.А. Пахолкина [и др.] // АНРИ. – 2010. – № 2. – С. 50–55.
15. Сличительные испытания радиометров радона центров Госсанэпиднадзора в городах и районах Красноярского края: бюллетень регионального радиологического центра и отдела метрологии. -Красноярск, 2003.
16. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания / К.Ф. Фокин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
17. Строительные нормы и правила: «Строительная климатология» (СанП 23-01-99*.): утв. и введены в действие с 01.01. 2000 г. – М.: Госстрой России, 2003.

A.A. Tsapalov¹, A.P. Ermilov¹, L.A. Gulabyan², A.T. Gubin³, S.I. Kuvshinnikov⁴

Principle of estimation of annual radon EEC in building by results of short-term measurements

¹ The «Amplituda» Research Centre, Zelenograd, Moscow,

² Russian Academy of Architecture and Building Science, Research Institute of Building Physics, Moscow

³ Research and Technical Center for Radiation-Chemical Safety and Hygiene FMBA of Russia, Moscow

⁴ Federal Center of State Sanitary and Epidemiological Inspection, Moscow

Abstract. The problem of reliable estimation of annual radon concentration in the new buildings by results of short-term measurements is still actual. The task is to determine the relevant real values for the coefficient of radon temporal variations. Two fundamentally different approaches are analyzed to obtain methodology and accounting regularities of radon EEC variations in indoor buildings. Experimental data shows that assessing of the average radon EEC levels is the most effective and took into account the ratio of current and annual air temperature differences inside and outside the building. The proposed principle is recommended for the development of improved methods of radon control in buildings.

Key words: radon, radon EEC, radon variation, annual average radon indoor, air temperature, difference in temperature, annual average temperature, closed room, new building.

Поступила 25.06.10 г.

A.A. Цапалов

Тел: (495) 961-14-61

E-mail: radon222@mailfrom.ru