

1. Область применения

1.1. Настоящий документ распространяется на организацию, порядок проведения измерений и оценку соответствия требованиям норм радиационной безопасности по части ограничения содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых или вводимых в эксплуатацию после завершения строительства, реконструкции или капитального ремонта зданий, включая оценку соответствия после завершения мероприятий по защите зданий от радона.

1.2. Настоящий документ предназначен для оценки соответствия зданий жилого, общественного и производственного назначения, которая может проводиться индивидуальными предпринимателями и юридическими лицами, деятельность которых связана с радиационным контролем, а также проектированием, строительством (капитальным ремонтом или реконструкцией) и эксплуатацией зданий, включая мероприятия по защите зданий от радона.

1.3. Настоящим документом могут руководствоваться организации (структурные подразделения) федеральных органов исполнительной власти, осуществляющие федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор за обеспечением радиационной безопасности населения при облучении природными источниками излучения.

1.4. Настоящий документ может также применяться жильцами, владельцами зданий, риэлторами и любыми другими заинтересованными лицами для самостоятельной оценки соответствия помещений зданий требованиям норм радиационной безопасности по части ограничения содержания радона в воздухе.

2. Нормативные ссылки

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

1. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).
2. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
3. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
4. ГОСТ Р 8.563–2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений.
5. ГОСТ 8.638–2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения.
6. ГОСТ 34100.3–2017. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.
7. ГОСТ ISO/IEC 17025–2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
8. ГОСТ Р 58973–2020. Оценка соответствия. Правила к оформлению протоколов испытаний.

Примечание: содержание настоящего документа является универсальным в отношении требований норм радиационной безопасности по части ограничения содержания радона в воздухе помещений зданий, учитывая вероятное усовершенствование (соответствующие изменения) НРБ и ОСПОРБ по мере их эволюции.

3. Термины и определения

В настоящем документе применены следующие термины с соответствующими им определениями:

- **здание** – результат строительства, представляющий собой объемное надземное строительное сооружение, включающее в себя помещения, предназначенные для проживания и (или) деятельности людей, размещения производства, хранения продукции или содержания животных, а также сети и системы инженерно-технического обеспечения;
- **помещение** – часть пространства внутри здания, имеющая определенное функциональное назначение и огражденное со всех сторон строительными конструкциями: стенами (с окнами и дверями), перекрытием и полом;

- **ОА радона** – объемная активность (концентрация) радона ($\text{Бк}/\text{м}^3$), выражает количество распадов ядер Rn-222 в секунду (Бк) в одном кубическом метре воздуха;
- **ЭРОА радона** – эквивалентная равновесная объемная активность радона ($\text{Бк}/\text{м}^3$) выражает взвешенную сумму объемных активностей короткоживущих продуктов распада Rn-222 (Po-218 , Pb-214 и Bi-214) и равна такому значению ОА радона в воздухе, при котором равновесная смесь его короткоживущих продуктов распада выделяет такую же энергию, как и реальная неравновесная смесь [1]; в помещениях зданий связь между ОА и ЭРОА радона выражается через фактор равновесия (F) соотношением $\text{ЭРОА}/\text{ОА} = 0,5$ (в международном регулировании радона $F = 0,4$); в пунктах 4.2, 5.3.2 и 5.3.3 НРБ-99/2009 норматив выражен в единицах ЭРОА изотопов радона, что эквивалентно вдвое большему значению в единицах ОА радона (без учета вклада менее распространенного изотопа Rn-220 [2]), например, $100 \text{ Бк}/\text{м}^3$ ЭРОА радона эквивалентно $200 \text{ Бк}/\text{м}^3$ ОА радона;
- **долгосрочное измерение** – непрерывное измерение (включая регистрацию данных через каждые несколько часов), либо пробоотбор (экспозиция) с последующим анализом, если продолжительность измерения (пробоотбора) от 2 до 12 месяцев;
- **краткосрочное измерение** – непрерывное измерение (включая регистрацию данных через каждые несколько часов), либо пробоотбор (экспозиция) с последующим анализом, если продолжительность измерения (пробоотбора) от 2 до 7 суток; измерения/пробоотбор продолжительностью от нескольких недель до двух месяцев тоже допускаются, однако такой интервал не вызывает особого внимания и необходимости применения специальной терминологии;
- **экспрессное измерение** – измерение, либо пробоотбор с последующим анализом при продолжительности измерения (пробоотбора) от нескольких минут до нескольких часов (не допускается настоящей методикой);
- **тест** – процедура контроля, включающая проведение краткосрочного или долгосрочного измерения, а также сбор/анализ данных и оценку соответствия помещения требованиям норм радиационной безопасности;
- **естественная вентиляция** – организованный или неорганизованный процесс удаления воздуха из помещения и замена его наружным воздухом за счет сил гравитации (более теплый воздух поднимается вверх), а также инсоляционного и ветрового напоров;
- **принудительная вентиляция** – организованный процесс (система) удаления воздуха из помещения и замена его наружным воздухом за счет разницы давления внутри помещения и снаружи здания, создаваемой непрерывной работой одного или нескольких вентиляторов;
- **нормальный режим вентиляции** – характерен для режима обычной эксплуатации здания, когда все помещения и здание в целом, включая естественную или принудительную вентиляцию, а также другие инженерные системы, эксплуатируются в штатном режиме без каких-либо ограничений; частота проветривания зависит от предпочтения обитателей (жителей или работников) помещений зданий;
- **ограниченный режим вентиляции** – характерен в тех случаях, когда квартира (включающая несколько помещений) или здание в целом выдерживаются при постоянно закрытых окнах и дверях, а также отключена принудительная вентиляция (если предусмотрена проектом); данный режим вентиляции имеет место в новых незаселенных зданиях, либо в эксплуатируемых зданиях, например, в период выходных, когда производственные процессы приостановлены и отсутствуют люди;
- **временная неопределенность** – компонент суммарной неопределенности оценки соответствия, который определяется как значение 95-го перцентиля (или 95% вероятности охвата) в распределении всех отклонений (D) между измеренными концентрациями $C_{ij}(t)$ и измеренной среднегодовой (СГ) концентрацией радона: $D_{ij}(t) = [C_j^{СГ}/C_{ij}(t)] - 1$ ($i = 1 \dots M$; $j = 1 \dots N$), в репрезентативной выборке из N помещений (зданий); в каждом из N помещений (зданий) проводятся непрерывные измерения ОА радона в течение одного года с периодом регистрации 1 или 3 часа [2] (при $M = 8760$ или 2920 , соответственно), что обеспечивает хорошую статистику отклонений $D_{ij}(t)$ для любой продолжительности измерения t (Приложение А);

- **инструментальная неопределенность** – компонент суммарной неопределенности оценки соответствия, который учитывает все источники неопределенности (в основном случайную/статистическую и систематическую/калибровочную компоненты), связанные с измеренной ОА (или ЭРОА) радона, независимо от природы происхождения радона и его поведения во времени и пространстве (Приложение Б);
- **коэффициент кратности** – используется в дополнительном критерии для идентификации помещений с высоким содержанием радона и определяется как значение 95-го перцентиля (или 95% вероятности охвата) в распределении отношений (R) измеренных концентраций $C_{ij}(t)$ к измеренной среднегодовой (СГ) концентрации радона: $R_{ij}(t) = C_{ij}(t)/C_j^{CG}$ ($i = 1 \dots M$; $j = 1 \dots N$); массивы значений $C_{ij}(t)$ и C_j^{CG} те же самые, которые использовались для определения временной неопределенности [7];
- **ALARA** (As Low As Reasonably Achievable / настолько низко, насколько это разумно достижимо) – принцип, выражающий один из основных критериев радиационной защиты с целью минимизации вредного воздействия ионизирующей радиации, который предусматривает поддержание на возможно низком и достижимом уровне как индивидуальных, так и коллективных доз облучения с учетом социальных и экономических факторов.

4. Принцип измерений и оценки соответствия

4.1. Общие положения

4.1.1. В настоящем документе под термином «радон» подразумевается наиболее распространенный изотоп Rn-222 (период полураспада 3,8 суток), пространственно-временное поведение которого уже в достаточной мере изучено в зданиях. Дополнительный вклад в радиационный риск за счет менее распространенного изотопа Rn-220 (период полураспада 55 секунд), называемого «тороном», является незначительным по сравнению с радоном [3]. Более того, в течение нескольких десятилетий санитарно-эпидемиологического надзора за обеспечением радиационной безопасности населения РФ не было сообщений (публикаций) о значимых индивидуальных рисках из-за повышенных уровней ЭРОА торона в зданиях [3], в отличие от множества публикаций о высоких ОА и ЭРОА радона [2]. Кроме того, пространственно-временные закономерности поведения ОА и ЭРОА торона в зданиях до сих пор не изучены. По этим причинам принцип измерений и оценки соответствия распространяется только на изотоп Rn-222.

4.1.2. Высокие содержания радона в отдельных зданиях нередко обнаруживаются, в том числе, и в пределах территорий с низким средним уровнем радона в зданиях по региону. Этот факт закономерно связан с логнормальным характером распределения ОА радона в зданиях [4]. Поэтому контроль радона должен проводиться в каждом здании, а измерение – единственный способ для оценки соответствия помещения/здания требованиям норм радиационной безопасности.

4.1.3. Проведение массовых измерений радона с охватом каждого здания, независимо от уровня радона в регионе, способствует реализации главной цели регулирования радона, заключающейся в снижении как общего риска для всего населения, так и индивидуального риска наиболее облучаемых лиц. В обоих случаях реализация цели осуществляется через **управление зданиями**, а не индивидуальной экспозицией, и должна привести к снижению ОА радона в воздухе помещений до разумно достижимого значения – ниже национального или регионального ограничивающего уровня. Стратегия защиты от радона должна включать как предупредительные меры в новых зданиях, так и корректирующие (радонозащитные) мероприятия по снижению облучения в существующих зданиях [5].

В рамках реализации цели и стратегии регулирования радона Нормы радиационной безопасности (пункты 5.3.2 и 5.3.3 НРБ-99/2009), а также Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (пункты 5.2.1 и 5.2.2 ОСПОРБ-99/2010) устанавливают национальный уровень, ограничивающий **среднегодовое содержание радона в помещениях**.

4.1.4. Концентрация радона может существенно (кратно) изменяться в течение суток, недель и сезонов даже в постоянно закрытых помещениях и зданиях [2], поэтому наиболее надежное решение о соответствии (или несоответствии) тестируемого помещения требованиям Норм радиационной безопасности достигается

за счет измерения в течение одного года. В то же время в большинстве зданий содержание радона существенно ниже ограничивающего уровня, поэтому нерационально в каждом помещении определять среднегодовой уровень с высокой точностью за счет длительного измерения в течение года, однако сокращение времени теста, очевидно, приводит к снижению надежности оценки соответствия.

В этой связи суть рационального критерия оценки соответствия (выражение (1) п. 4.2.1) заключается в сравнении ограничивающего уровня с верхней границей доверительного интервала оцениваемого среднегодового значения, которое определяется на основе результата измерения концентрации радона с учетом возможности контроля основных компонентов (временной и инструментальной) неопределенности, снижающейся с увеличением продолжительности теста [2,6,7]. В подавляющем большинстве случаев из-за низкого содержания радона в зданиях достаточно лишь проведения недорогих краткосрочных тестов (от 2 до 7 суток) в рамках рационального критерия, чтобы убедиться в отсутствии радоновой проблемы. В другой, относительно небольшой доле случаев, потребуется дополнительное проведение более точных и дорогостоящих долгосрочных тестов (от 2 до 12 месяцев) после (или в продолжение) краткосрочных измерений из-за высокой временной неопределенности коротких тестов, а также повышенного и сверхнормативного содержания радона в некоторых зданиях, которые в итоге будут надежно идентифицированы.

Выраженный выше принцип измерения и оценки соответствия (1), благодаря контролю основных компонентов неопределенности, обеспечивает надежность решений с вероятностью не менее 95% независимо от применяемых методов и средств измерений как при долгосрочных, так и краткосрочных тестах, но исключая применение экспрессных измерений длительностью несколько минут или часов.

4.1.5. Результаты специальных исследований свидетельствуют о низкой надежности оценки соответствия на основе экспрессных измерений по причине неприемлемо высоких временных вариаций радона, и как следствие, чрезмерно высокой и неконтролируемой временной неопределенности [2,3]. Кроме того, практика экспрессных измерений не только не обеспечивает удовлетворительную надежность оценки соответствия тестируемых помещений требованиям Норм радиационной безопасности, но и совершенно не защищена от небрежности либо умышленного нарушения условий измерения [2,3]. В этой связи, а также учитывая международный опыт [2], продолжительность теста должна быть не менее 2 суток в условиях ограниченного режима вентиляции и не менее 4 суток в условиях нормального режима вентиляции.

4.1.6. В Приложении А приводятся значения временной неопределенности в зависимости от продолжительности измерений и режима вентиляции (нормального и ограниченного). Эти значения были получены путем статистического анализа массивов разностей (отклонений $Dij(t)$) между среднегодовыми и измеренными с разной продолжительностью значениями ОА радона в выборке зданий, расположенных на территориях с различным геологическим строением и климатическими условиями. Такой подход позволяет учесть совокупное влияние всех естественных (природных) и антропогенных факторов (включая режим вентиляции и температурное влияние) на поведение радона во времени в помещениях зданий [2,6,7].

Очевидно, что с увеличением продолжительности измерения временная неопределенность снижается и равна нулю, если продолжительность теста равна одному году.

В режиме ограниченной вентиляции, когда все окна и двери в здании постоянно закрыты, амплитуда колебаний ОА радона снижается, поэтому временная неопределенность примерно в полтора–два раза ниже по сравнению с режимом нормальной вентиляции, когда все помещения и здание в целом эксплуатируются в штатном (обычном) режиме без каких-либо ограничений.

В предыдущих методических указаниях (МУ 2.6.1.037–2015) критерий оценки соответствия включал отдельный учет температурного влияния для определенной группы помещений. Однако накапливающиеся результаты годовых и сезонных измерений ОА радона в зданиях показывают, что не существует строгой закономерности температурного (или сезонного) влияния, которую можно применять к любым помещениям и зданиям, хотя чаще встречаются сообщения (публикации) о более высоких уровнях радона в холодный период года [2].

4.1.7. В Приложении Б приводятся математические алгоритмы, а также указания и рекомендации по обеспечению качества измерений путем контроля инструментальной неопределенности.

Сопоставление вкладов временной и инструментальной компонент в общий бюджет неопределенности оцениваемого среднегодового уровня радона показывает, что при продолжительности теста менее двух месяцев вклад инструментальной компоненты незначительный, даже если инструментальная неопределенность составляет 40% [2,6,7]. В режиме долгосрочных измерений целесообразно применение более точных методов и средств измерений, обеспечивающих более низкую инструментальную неопределенность, которую, однако, нецелесообразно снижать менее 20% по причине существования межгодовых вариаций радона в зданиях [2,6,7].

Таким образом, метрологические требования по обеспечению качества в режиме краткосрочных измерений должны быть более мягкими по сравнению с требованиями к долгосрочным измерениям [2,6,7]. Это позволяет легализовать применение недорогих (непрофессиональных) средств измерений радона [2,6,7], а также участие самого населения в широкомасштабном тестировании помещений зданий.

4.1.8. Мотивация населения для самостоятельного тестирования жилищ и офисов за счет информирования о радоновых рисках, а также внедрения недорогих и удобных инструментов измерений в рамках рационального критерия оценки соответствия позволяет коммерциализировать индустрию регулирования радона для проведения массового тестирования зданий в масштабе всей страны. Однако при добровольном тестировании сложно добиться выполнения минимально необходимого объема измерений в каждом здании (п.5.4). Поэтому, если во всем здании проводится лишь 2–3 измерения (в разных помещениях одновременно), важно конкретизировать условия выбора помещений в порядке приоритета тестирования в зависимости от типа и расположения помещений.

Высоким является приоритет тестирования помещений с длительным пребыванием типа спальни, детской игровой комнаты, рабочего кабинета и других помещений, в которых люди обычно проводят не менее 6 часов в сутки. Если помещения находятся на разных этажах, то внимание фокусируется на помещениях указанного типа, которые расположены на нижних этажах, вплоть до подвалов, хотя в подвалах люди обычно не живут и не проводят много времени.

Низким является приоритет тестирования помещений, в которых люди проводят мало времени и, тем более, редко посещаются, независимо от уровня (этажа) их расположения.

Обычно в помещениях подвалов и цокольных этажей содержание радона выше, поскольку грунт является основным источником или поставщиком радона внутрь зданий (дополнительным менее значимым источником являются каменные строительные материалы типа бетонных плит, кирпича и т. п., а также в редких случаях – источники водоснабжения). Однако при ограниченном количестве измерений тестирование помещений в подвале или на цокольном этаже нецелесообразно, если эти помещения редко посещаются.

4.1.9. Реконструкция или капитальный ремонт здания, включая модернизацию инженерных систем и подземных коммуникаций, могут повлиять на радоновую обстановку в здании, особенно на нижних этажах. В этом случае целесообразно повторное обследование здания. Также вследствие постепенной деградации элементов конструкции фундамента и инженерных систем подземной части здания может усилиться миграция радона из грунта внутрь здания, поэтому через каждые 3–5 и 10 лет рекомендуется проводить повторные радоновые тесты не только в районах с высоким, но и с низким содержанием радона в зданиях, соответственно.

4.1.10. Сбор и накопление результатов радоновых тестов, включая характеристики помещений и зданий, позволяют лучше оценивать коллективные риски за счет облучения радоном в разных регионах страны, а также более детально картировать потенциальную радоноопасность территорий в масштабе от регионов до муниципалитетов, при этом должна обеспечиваться конфиденциальность добровольных участников тестов.

4.2. Рациональный критерий оценки соответствия

4.2.1. Рациональный критерий обеспечивает надежность решения не менее 95% (или не более 5% решений «ложной приемки») о соответствии помещения требованиям Норм радиационной безопасности, если выполняется условие [2,6,7]:

$$C(t) \cdot \left[1 + \sqrt{U_V(t)^2 + U_H^2} \right] < C_{HY}^{OA} \text{ (либо } < 2 \cdot C_{HY}^{ЭРОА}), \quad (1)$$

где $C(t)$ – ОА радона (или ЭРОА радона, умноженная на 2) в Бк/м³, измеренная за период t , продолжительность которого должна быть не менее двух суток в режиме ограниченной вентиляции и не менее четырех суток в режиме нормальной вентиляции; C_{HY} – национальный или региональный уровень, ограничивающий среднегодовое содержание радона в помещении, выраженный в единицах ОА радона (либо в единицах ЭРОА изотопов радона, см. раздел 3) в Бк/м³; $U_V(t)$ – временная неопределенность в относительных единицах (при коэффициенте охвата $k = 2$), значения которой зависят от продолжительности измерения и режима вентиляции и приводятся в Приложении А; U_H – инструментальная неопределенность в относительных единицах (при $k = 2$), алгоритм определения которой приводится в Приложении Б.

4.2.2. Дополнительный критерий обеспечивает надежность решения не менее 95% о несоответствии помещения требованиям Норм радиационной безопасности, если выполняется условие [7]:

$$\frac{C(t)}{Kp(t)} \cdot (1 - U_H) > C_{HY}^{OA} \text{ (либо } > 2 \cdot C_{HY}^{ЭРОА}), \quad (2)$$

где $Kp(t)$ – коэффициент кратности в относительных единицах, значения которого зависят от продолжительности измерения (только в режиме нормальной вентиляции) и приводятся в Приложении А.

5. Условия измерений

5.1. Общие условия

5.1.1. Измерения в краткосрочном и долгосрочном режимах могут проводиться в любое время года, исключая начало измерений в краткосрочном режиме во время неблагоприятных погодных условий. В этом случае рекомендуется заранее учитывать данные прогноза метеорологических служб и не начинать краткосрочные измерения:

- при аномально высокой или низкой температуре в регионе;
- при высокой скорости и/или сильных порывах ветра;
- в период затяжных дождей и в течение 1–2 дней после их завершения.

5.1.2. Во всем здании, а не только в тестируемых помещениях, должны быть установлены все окна и двери, налажена работа системы естественной и/или принудительной вентиляции (если предусмотрена проектом), а также систем отопления, водоснабжения и канализации. Обследования новых или реконструируемых зданий рекомендуется проводить не ранее чем через одну неделю после завершения отделочных работ. Если новое здание сдается в эксплуатацию без внутренней отделки помещений, допускается отсутствие межкомнатных дверей.

5.1.3. В отопительный период года здания, либо отдельные квартиры с индивидуальной системой отопления, должны обследоваться только при включенном отоплении, которое должно функционировать не менее одной недели до начала измерений.

5.1.4. В помещениях должны соблюдаться микроклиматические условия в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21, также учитывая температурно-влажностные ограничения рабочих диапазонов применяемых методов и средств измерений радона. В частности, температура и относительная влажность воздуха в помещениях не должны выходить за пределы соответствующих диапазонов для производственных (или жилых и общественных) зданий:

- от +13 до +28 (или от +18 до +26) °С,
- от 15 до 75 (или от 30 до 60) %.

5.1.5. В период выполнения измерений (пробоотбора) недопустимо проведение в тестируемом помещении, как и во всем здании, ремонтных работ, которые могут влиять на воздушно-тепловой режим, особенно вентиляцию помещений.

5.1.6. В случае проникновения грунтовых вод в подвальные помещения обследование здания или отдельных помещений не проводится.

5.2. Вентиляционный режим

5.2.1. При ограниченной вентиляции, когда все окна и двери в здании (или тестируемой квартире) постоянно закрыты, а также отключена принудительная вентиляция (если предусмотрена проектом), продолжительность теста должна составлять не менее 2 суток. Если планируемая продолжительность теста в условиях ограниченной вентиляции не более 4 суток, необходима предварительная выдержка всего здания или тестируемой квартиры в течение не менее 12 часов, тоже при ограниченной вентиляции. Если планируемая продолжительность измерений при ограниченной вентиляции более 4 суток, то предварительных процедур для подготовки тестируемых помещений, как и здания в целом не требуется.

5.2.2. В режиме нормальной (обычной) вентиляции, когда все помещения и здание в целом эксплуатируются в штатном (обычном) режиме без каких-либо ограничений, продолжительность теста должна составлять не менее 4 суток. В этом случае никаких предварительных процедур для подготовки тестируемых помещений и здания не требуется.

Важно обратить внимание, что в режиме нормальной (обычной) вентиляции намеренно постоянно открытые, либо намеренно постоянно закрытые окна и двери, а также намеренное отключение принудительной вентиляции (работа которой предусмотрена проектом) могут существенно повлиять на результат измерений и, соответственно, снизить надежность тестирования помещений и здания, особенно в условиях краткосрочного теста.

5.2.3. Тестирование помещений в режиме нормальной (обычной) вентиляции является более предпочтительным по сравнению с тестированием в режиме ограниченной вентиляции [2,7].

5.3. Расположение места измерения в помещении

5.3.1. Место измерения должно располагаться вдали от оконного проема, двери и источников тепла, холода, влаги или сквозняков, не ближе 20 см от стен, а также должно быть защищено от попадания прямых солнечных лучей, влияния вибрации и электромагнитных полей, например, создаваемых печью СВЧ или мобильным телефоном (расстояние до этих устройств должно быть не менее 0,5 м).

5.3.2. Расположение места измерения должно исключать любые манипуляции со средством измерения (пробоотбора), включая перемещение, в течение всего периода теста.

5.3.3. Рекомендуемая высота места измерения от 0,4 до 2 м. В условиях ограниченной вентиляции и отсутствия мебели допускается измерение на полу с подложкой из картонного листа, размеры которого не менее 20×20 см.

5.3.4. В помещениях с большой площадью количество мест измерений должно определяться из расчета 1 место на 100 м², а в случае складских помещений большой площади – 1 место на 200–400 м².

5.4. Выбор тестируемых помещений в здании

5.4.1. Идеальный вариант тестирования охватывает все помещения в здании, однако это нерациональный подход, поскольку в большинстве зданий низкое содержание радона, тем более, на верхних этажах. Поэтому рационально начинать обследование здания при минимально необходимом охвате тестируемых помещений, в основном расположенных на первом этаже, учитывая приоритет тестирования в соответствии с п.4.1.8.

5.4.2. На первом этаже тестирование следует проводить во всех помещениях с длительным пребыванием людей. В случае многоквартирных зданий, сдаваемых в эксплуатацию без внутренней отделки (и межкомнатных дверей), минимальное количество измерений на первом этаже определяется из расчета 1 измерение на каждые 30–60 м², но не менее 1 измерения на квартиру (апартаменты).

5.4.3. На втором и самом верхнем этажах рекомендуется выполнять не менее чем по 2 теста. В этом случае тестируемые помещения должны находиться в разных квартирах, которые ближе всего расположены к лестничному пролету. Между этими этажами рекомендуется проводить тесты в случайно выбранных помещениях (разных квартирах), количество которых определяется из расчета 2 тестируемых помещения на каждые 5–10 этажей.

5.4.4. Способ выбора тестируемых помещений, согласно пп. 5.4.2 и 5.4.3, касается каждого отдельного подъезда обследуемого здания.

5.4.5. Если средств измерений недостаточно для минимально необходимого охвата тестируемых помещений, тогда обследование здания проводится этапами в разное время, охватывая один или несколько подъездов за этап.

5.4.6. В случае необходимости выявления зон наиболее интенсивного переноса радона из грунта внутрь здания необходимо одновременно проводить измерения (не менее 4 суток) во всех подвальных или цокольных помещениях, а также во всех помещениях на первом этаже при постоянно закрытых дверях и окнах.

5.4.7. Для проверки эффективности мер по защите здания от радона необходимо одновременно проводить измерения (не менее 4 суток) в том же режиме вентиляции и в тех же помещениях, в которых были обнаружены повышенные содержания радона до реализации защитных мероприятий.

5.5. Требования к средствам измерений

5.5.1. Для измерений ОА радона могут использоваться любые методы пробоотбора и средства измерений ОА (или ЭРОА) радона, обеспечивающие непрерывный или периодический пробоотбор и/или измерения в краткосрочном или долгосрочном режимах, и позволяющие при оценке средней ОА радона за период измерения t (от двух суток до одного года) учитывать значение инструментальной неопределенности $U_{и}$, также ориентируясь на алгоритмы в Приложении Б.

5.5.2. Рационально применять методы и средства измерений с погрешностью калибровки (или погрешностью измерений, если данные калибровки отсутствуют), не выходящей за пределы $\pm 40\%$ (при $k = 2$) и $\pm(20-30)\%$ (при $k = 2$) в краткосрочном и долгосрочном режимах измерений, соответственно (см. Приложение Б).

5.5.3. Для измерений температуры и относительной влажности воздуха в помещениях могут использоваться любые электронные устройства, в спецификации которых диапазоны измерений соответствуют требованиям п.5.1.4, а погрешность измерений температуры и влажности не хуже $\pm 1^\circ\text{C}$ и $\pm 3\%$, соответственно.

6. Проведение измерений

6.1. Подготовка к измерениям

6.1.1. При подготовке к измерениям рекомендуется выполнить сбор информации об обследуемом здании, включая план этажей и набор следующих данных:

- конкретное наименование здания (если приемлемо);
- расположение (точный адрес и/или координаты GPS);
- назначение (жилое/общественное/офисное/производственное);
- форма собственности (частная/долевая/муниципальная/государственная);
- состояние здания (эксплуатируемое/новое с отделкой/новое без отделки/реконструированное с отделкой/реконструированное без отделки);
- год (или декада) сдачи в эксплуатацию;
- количество этажей, включая цокольные и подземные;
- количество подъездов;

- основной строительный материал (каменный/деревянный/металл каркас/комбинированный);
- тип фундамента (плита/ленточный/свайный/комбинированный);
- наличие подвала (есть/нет);
- расположение входа в подвал (из здания/снаружи здания);
- тип вентиляции (естественная/принудительная);
- кондиционирование (центральное/индивидуальное/отсутствует);
- тип отопления (центральное/индивидуальное/отсутствует);
- тип водоснабжения (центральное/индивидуальное/отсутствует);
- тип канализации (центральная/индивидуальная/отсутствует);
- результаты предыдущего тестирования, а также сведения о защитных мероприятиях по снижению ОА радона, если проводились;
- состояние конструкций фундамента и перекрытий подвала/цоколя, а также состояние врезок подземных коммуникаций: водопровод, канализация, электрокабели (при наличии информации).

6.1.2. Рекомендуется заранее определить минимально необходимое количество тестируемых помещений и их расположение на основе информации о характеристиках здания, учитывая п.5.4 и имеющиеся средства измерений.

6.2. Выполнение измерений

6.2.1. Выполнение измерений (пробоотбора) в краткосрочном или долгосрочном режимах должно соответствовать руководству по эксплуатации средства измерения (пробоотбора).

6.2.2. Тестирование помещений рекомендуется начинать с измерений в краткосрочном режиме при соблюдении условий раздела 5 с регистрацией фактических погодных (темпер./влажность/ветер/осадки) и микроклиматических условий, а также режима вентиляции (нормальный или ограниченный).

6.2.3. В начале измерения (пробоотбора) по каждому помещению необходимо зарегистрировать следующие данные:

- неповторяющийся номер или шифр измерения (теста);
- дату и время (с точностью до одного часа);
- номер или шифр помещения, согласно плану этажей;
- состояние помещения (с отделкой и мебелью/с отделкой без мебели/без отделки);
- назначение помещения (спальня/детская/гостиная/офис/другое/неизвестно);
- этаж расположения;
- номер подъезда;
- тип (модель) пробоотборника и/или измерительного устройства;
- номер (шифр) пробоотборника и/или измерительного устройства.

6.2.4. При завершении измерения (пробоотбора) необходимо зарегистрировать дату и время (с точностью до одного часа), а также результат измерения, если возможно.

6.2.5. Экспонированные пробоотборники (в случае применения) должны быть оперативно доставлены в лабораторию для проведения анализа в соответствии с руководством по эксплуатации средства измерений.

6.3. Выражение результатов измерений

6.3.1. Результат каждого измерения должен включать следующий набор необходимых данных (независимо от применяемого средства измерений):

- неповторяющийся номер или шифр измерения (теста);
- дата и время начала теста (с точностью до часа);
- продолжительность теста с точностью до часа;
- средняя ОА радона (Бк/м³) за период измерения (теста);

- инструментальная неопределенность измерения ОА радона (U_H при $k = 2$), выраженная в относительных единицах (например, 0,25 или 25%);
- режим вентиляции (нормальный или ограниченный).

6.3.2. Набор дополнительных данных, связанных с результатом измерения и характеризующий условия теста, должен охватывать указанные выше характеристики здания (п.6.1.1) и помещения (п.6.2.3), включая данные о средстве измерения и микроклиматических условиях (п.5.1.4), которые регистрировались в начале теста. В случае краткосрочных измерений дополнительно указываются погодные условия в начале теста (температура/влажность/скорость ветра/количество осадков).

7. Оценка результатов измерений

7.1. Решения о соответствии помещения

7.1.1. Помещение соответствует требованиям Норм радиационной безопасности, если на основе результатов измерений, проведенных в соответствии с условиями раздела 5, выполняется критерий (1).

7.1.2. Помещение не соответствует требованиям Норм радиационной безопасности (требуются меры по снижению ОА радона), если на основе результатов измерений, проведенных в соответствии с условиями раздела 5, выполняется критерий (2), либо не выполняется критерий (1) при продолжительности теста не менее 9 месяцев.

7.1.3. Если критерий (1) не выполняется в режиме краткосрочных измерений (от 2 до 7 дней), то это может свидетельствовать о повышенном содержании радона в помещении, тогда рекомендуется:

- проведение более точных измерений в долгосрочном режиме (от 2 до 12 месяцев), что повышает вероятность выполнения критерия (1) вследствие снижения временной неопределенности, либо
- проведение мер по снижению ОА радона, следуя принципу ALARA.

7.2. Решения о соответствии здания

7.2.1. Здание соответствует требованиям Норм радиационной безопасности, если при минимально необходимом охвате тестируемых помещений каждое из них соответствует требованиям норм согласно п.7.1.1.

7.2.2. Здание не соответствует требованиям Норм радиационной безопасности (требуются меры по снижению ОА радона), если при минимально необходимом охвате тестируемых помещений хотя бы одно из них не соответствует требованиям норм согласно п.7.1.2.

7.3. Юридическая сила решения

7.3.1. В рамках добровольного тестирования помещений зданий (включая оплату услуг) юридический аспект решения о соответствии/несоответствии помещения, как и здания в целом, требованиям Норм радиационной безопасности не имеет особой важности. В то же время юридическая сила такого решения может иметь особую важность в случае проведения тестов и мероприятий по защите зданий от радона из средств регионального (местного) или федерального бюджета.

7.3.2. Решение о соответствии/несоответствии помещения, как и здания в целом требованиям Норм радиационной безопасности может иметь юридическую силу только в том случае, если измерения проводились квалифицированными специалистами аккредитованной лаборатории в рамках регламента настоящего документа с применением аттестованных средств измерений, согласно требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.

7.3.3. В действующем свидетельстве об аттестации или поверке средства измерений должно приводиться либо предельное (максимальное) относительное значение инструментальной неопределенности (U_H при $k = 2$), которую метрологические службы в своих документах также могут называть «неопределенность измерения» или «погрешность измерения (со знаком \pm)», либо относительное значение компоненты инстру-

ментальной неопределенности ($U(\epsilon)$ при $k = 2$), выражающее пределы погрешности калибровки средства измерения, что необходимо для расчета значения U_I на основе алгоритмов в Приложении Б.

8. Обеспечение качества измерений

8.1. Качество измерений и надежность принятия решений о соответствии/несоответствии тестируемых помещений зданий требованиям Норм радиационной безопасности обеспечиваются за счет строгого выполнения регламента настоящего документа в совокупности контроля и управления такими основными компонентами неопределенности оценки соответствия, как временная $U_V(t)$ и инструментальная U_I неопределенности, включая коэффициент кратности $K_p(t)$, которые используются в критериях (1) и (2).

8.2. Детальная информация по контролю и управлению временной и инструментальной неопределенностями, включая коэффициент кратности, приводится в Приложениях А и Б.

9. Оформление результатов

9.1. Протокол испытаний (тестирования) должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58973–2020 и включать ссылку на настоящий документ, а также содержать семь основных разделов, охватывающих информацию в соответствии с пунктами ниже.

9.1.1. Сведения о лаборатории, проводившей измерения, включая наименование и контакты, срок действия и номер аттестата аккредитации (если имеется), данные (или шифр) лица, ответственного за проведение теста, и другие данные, согласно ГОСТ Р 58973–2020. Если измерение (пробоотбор) проводилось добровольно частным лицом, тогда его данные указывать не обязательно.

9.1.2. Сведения о средстве измерения, включая модель, в том числе, пробоотборника (если применяется), их номера, срок действия и номер свидетельства об аттестации/поверке (если имеется), а также неопределенность или погрешность калибровки в относительных единицах при $k = 2$ (либо неопределенность измерения, либо погрешность измерения, если так указано в свидетельстве).

9.1.3. Сведения о здании, включая план этажей и список данных в соответствии с п. 6.1.1. Сюда же следует включать результаты предыдущего тестирования и защитных мер по снижению ОА радона, если проводились.

9.1.4. Условия измерений, включая режим вентиляции (нормальный или ограниченный), микроклиматические условия, согласно п.5.1.4, а также метеоданные в случае краткосрочных измерений.

9.1.5. Сведения о каждом обследованном помещении, включая соответствующие данные, согласно п.6.2.3, с отметкой на плане этажей, который должен прилагаться к протоколу испытаний, если тестирование здания охватывало минимально необходимое количество помещений согласно п. 5.4.

9.1.6. Результаты измерений по каждому обследованному помещению, включая номер или шифр измерения (теста), дату и время начала и окончания теста (с точностью до часа), продолжительность теста с точностью до часа, среднюю ОА радона ($Bк/м^3$) за период измерения (теста), а также инструментальную неопределенность измерения ОА радона (U_I при $k = 2$), выраженную в относительных единицах (например, 0,25 или 25%). Сюда же следует включать данные лабораторных измерений, если применялся пробоотборник с последующим лабораторным анализом.

9.1.7. Решение о соответствии или не соответствии каждого обследованного помещения требованиям Норм радиационной безопасности должно состоять из двух частей, включающих:

- Часть 1 – расчет значений левой части неравенств критериев (1) и (2), а также актуальное значение ограничивающего уровня (правая часть этих неравенств) в единицах ОА радона (в $Bк/м^3$);
- Часть 2 – вывод о соответствии или несоответствии помещения требованиям Норм радиационной безопасности на основе сравнения данных Части 1 согласно п.7.1.

9.2. Данные последних трех пунктов (9.1.5, 9.1.6 и 9.1.7) могут быть интегрированы в общую таблицу.

9.3. Если обследование здания проведено при минимально необходимом охвате тестируемых помещений, что позволяет выполнить оценку соответствия самого здания требованиям Норм радиационной безо-

пасности, тогда об этом сообщается в дополнительном восьмом разделе протокола испытаний со ссылкой на пп. 5.4 и 7.2. Соответственно, в восьмом разделе протокола должно приводиться решение о соответствии или не соответствии здания в целом требованиям норм радиационной безопасности, согласно п.7.2.

9.4. Если обследованные помещения, как и здание в целом, соответствуют требованиям норм радиационной безопасности, рекомендуется в завершение протокола испытаний добавлять напоминание, согласно п.4.1.9, о целесообразности проведения повторных тестов через каждые 3–5 и 10 лет в районах не только с высоким, но и низким содержанием радона в зданиях, соответственно.

Библиография

1. Маренный А.М., Цапалов А.А., Микляев П.С., Петрова Т.Б. Закономерности формирования радонового поля в геологической среде. М.: издательство «Перо» (ISBN 978-5-906883-94-0), 2016, 394 с.
2. Цапалов А.А., Киселев С.М., Ковлер К.Л., Микляев П.С., Петрова Т.Б., Жуковский М.В., Ярошенко И.В., Маренный А.М., Тютельян О.Е., Кувшинников С.И. Стандартизация контроля радона в зданиях на основе рационального критерия оценки соответствия. Радиационная гигиена. Т. 16, № 4. С. 84-104. 2023.
3. Цапалов А.А., Микляев П.С., Петрова Т.Б., Кувшинников С.И. Кризис регулирования радона в России: проблема тестирования зданий и альтернативный метод. Часть 2. АНРИ. 2025. № 1(120). С. 56-74.
4. ICRP. Protection against Radon-222 at home and at work. The international commission on radiological protection. 1993. ICRP publication 65. Annals of the ICRP. 1993. Vol. 23, no. 2, pp. 1-45. ISSN 0146-6453.
5. ICRP Publication 126. Radiological Protection against Radon Exposure. Ann. ICRP, vol. 43, no. 3, 2014. Труды МКРЗ. Радиологическая защита от облучения радоном. Перевод публикации 126. МКРЗ. М.: изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2015, 88 с. ISBN 978-5-9035926-06-8.
6. A. Tsapalov, K. Kovler, «Metrology for Indoor Radon Measurements and Requirements for Different Types of Devices», *Sensors*, no. 24(2), 504, 2024.
7. A. Tsapalov, K. Kovler, P. Bossew, «Strategy and Metrological Support for Indoor Radon Measurements Using Popular Low-Cost Active Monitors with High and Low Sensitivity» *Sensors*, no. 24(15), 4764, 2024.

Приложение А

Временная компонента неопределенности оценки соответствия

А1. Значения временной неопределенности $U_V(t)$ в зависимости от продолжительности измерения и режима вентиляции приводятся в относительных единицах (при $k = 2$) в табл. 1. В этой таблице также приводятся относительные значения коэффициента кратности $Kp(t)$ в зависимости от продолжительности измерения только в режиме нормальной вентиляции.

Таблица 1.

Продолжительность измерения*		Временная неопределенность $U_V(t)$ [2]		Коэффициент кратности $Kp(t)$ [7]
		Режим вентиляции		
		Нормальный	Ограниченный	
Сутки	2	-	1,05	-
	3	-	1,00	-
	4	1,25	0,95	1,74
	5	1,20	0,90	1,72
	6	1,20	0,80	1,70
	7	1,20	0,75	1,69
	8	1,20	0,70	1,68
	10	1,10	0,65	1,67
	12	1,10	0,60	1,66
	14	1,10	0,55	1,65
	20	1,10	0,50	1,61
Месяц	1	1,05	0,45	1,56
	2	1,00	0,40	1,48
	3	0,85	0,38	1,44
	4	0,65	0,36	1,42
	5	0,55	0,32	1,37
	6	0,45	0,26	1,31
	7	0,35	0,20	1,24
	8	0,25	0,16	1,20
	9	0,17	0,14	1,14
	10	0,10	0,09	1,09
	11	0,05	0,05	1,05
	12	0,00	0,00	1,00

* если продолжительность измерения находится между табличными значениями, тогда используются более высокие значения $U_V(t)$ и $Kp(t)$, например, $Kp(t = 4,8 \text{ суток}) = 1,74$.

А2. Снижение временной неопределенности $U_V(t)$, вероятно, может быть достигнуто на основе существенного увеличения массива статистических данных за счет накопления и обработки результатов непрерывных годовых измерений ОА радона (с периодом регистрации 1 или 3 часа) в нескольких сотнях зданий разного типа, равномерно распределенных на территории РФ [2]. В дополнение к этому, вероятно, может быть обнаружена статистически значимая корреляция между $U_V(t)$ и такими характеристиками, как, например, тип здания и этаж, что позволит ранжировать условия измерений, добываясь еще большего снижения временной неопределенности.

А3. Массив статистических данных, используемый для оценки значений временной неопределенности, также используется для оценки значений коэффициента кратности $Kp(t)$ [7].

А4. Верифицированные (обновленные) значения временной неопределенности $U_V(t)$ и коэффициента кратности $Kp(t)$ могут быть приняты только после публикации научного обоснования, прошедшего рецензирование среди ведущих специалистов в области исследований пространственно-временного поведения радона в зданиях. Ввод в действие обновленных значений этих параметров осуществляется после метрологической экспертизы и аттестации обновленной МРК согласно ГОСТ 8.638-2013.

Приложение Б

Инструментальная компонента неопределенности оценки соответствия

Б1. Общие положения

Б1.1. Общее выражение инструментальной неопределенности U_H в относительных единицах имеет следующий вид [2,6,7]:

$$U_H = \sqrt{k^2 \cdot \frac{n/t + n_\phi/t_\phi}{(n - n_\phi)^2} + U^2(\varepsilon)}, \quad (Б1)$$

где k – коэффициент охвата, равный 2; n – скорость счета импульсов (1/с), которые зарегистрированы за время измерения ОА(ЭРОА) или содержащей радон пробы, обозначаемое как t (с); n_ϕ – скорость счета импульсов (1/с), которые зарегистрированы за время измерения фона (согласно инструкции производителя средства измерения), обозначаемое как t_ϕ (с); $U(\varepsilon)$ – компонента инструментальной неопределенности в относительных единицах (при $k = 2$), выражающая пределы погрешности калибровки средства измерения и пробоотбора, также учитывающая влияние других значимых факторов (если $U(\varepsilon)$ равно 0,25 или 25%, тогда пределы относительной погрешности калибровки выражаются в виде $\pm 0,25$ или $\pm 25\%$).

Б1.2. Качество измерений достигается также путем контроля инструментальной неопределенности, управление которой, согласно (Б1), связано с анализом регистрируемой скорости счета импульсов (или их количества) за период измерения, а также компоненты $U(\varepsilon)$. Состав и значение этой компоненты зависят от методов измерений, среди которых можно выделить три наиболее популярных в международной (включая Россию) практике контроля радона в зданиях:

- 1) краткосрочный метод измерений ОА радона на основе пассивной сорбции радона активированным углем с последующим измерением его активности (угольный или квазиинтегральный метод);
- 2) долгосрочный метод измерений ОА радона на основе экспонирования трекового детектора типа CR-39 или LR-115 с последующим травлением и подсчетом треков (трековый или интегральный метод);
- 3) универсальный по длительности метод измерений ОА радона на основе естественной диффузии радона в измерительную камеру с непрерывной регистрацией накапливаемых импульсов, например, через каждые 1 или 3 часа (метод непрерывных измерений с применением разных принципов детектирования); к этому методу можно также причислить средства измерений ОА или ЭРОА радона с активным (принудительным) периодическим пробоотбором, включая соответствующую периодическую регистрацию результатов.

Далее по каждому из этих трех методов приводится более подробный алгоритм оценки инструментальной неопределенности, включая ее контроль.

Б2. Инструментальная неопределенность угольного метода

Б2.1. Выражение относительной инструментальной неопределенности угольного метода U_H вытекает из (Б1) и имеет следующий вид:

$$U_H = \sqrt{4 \cdot \frac{n/t + n_\phi/t_\phi}{(n - n_\phi)^2} + U_H^2(\varepsilon_1) + U_H^2(\varepsilon_2)}, \quad (Б2)$$

где n – скорость счета импульсов (1/с), которые зарегистрированы за время (в секундах) измерения активности сорбированного радона в угле; n_{ϕ} – скорость счета импульсов (1/с), которые зарегистрированы за время (в секундах) измерения фона детектора с «чистым» углем; $U_{\Delta}(\varepsilon_1)$ – компонента инструментальной неопределенности в относительных единицах (при $k = 2$), выражающая пределы погрешности калибровки средства измерения (детектора), которая, например, для комплекса «КАМЕРА» не превышает 0,15 ($k = 2$); $U_{\Pi}(\varepsilon_2)$ – компонента инструментальной неопределенности в относительных единицах (при $k = 2$), выражающая пределы погрешности объемного эквивалента пробоотборника, которая, например, для комплекса «КАМЕРА» не превышает 0,25 ($k = 2$), либо 0,40 ($k = 2$), если не учитывается привес угля после пробоотбора.

Б2.2. Качество измерений угольным методом достигается за счет контроля инструментальной неопределенности, управление которой, согласно (Б2), связано с анализом регистрируемой скорости счета импульсов, а также компонент $U_{\Delta}(\varepsilon_1)$ и $U_{\Pi}(\varepsilon_2)$. Значения этих компонент неопределенности (или пределов погрешностей), а также соответствующие им значения чувствительности детектора ε_1 и объемного эквивалента пробоотборника ε_2 должны быть установлены в сертификате соответствия типу средства измерения (СИ). Соответствие $U_{\Delta}(\varepsilon_1)$ установленному значению должно подтверждаться при периодической поверке СИ, а компоненты $U_{\Pi}(\varepsilon_2)$ – по результатам испытаний при оформлении (или продлении) сертификата соответствия типу СИ, либо при изменении конструкции пробоотборника, а также использования новой партии или марки активированного угля.

Б3. Инструментальная неопределенность трекового метода

Б3.1. Выражение относительной инструментальной неопределенности трекового метода U_{II} вытекает из (Б1) и имеет следующий вид [6]:

$$U_{II} = \sqrt{4 \cdot \frac{N + N_0}{(N - N_0)^2} + U_K^2(\varepsilon)}, \quad (\text{Б3})$$

где N – количество треков после экспозиции детектора; N_0 – среднее количество фоновых треков среди неэкспонированных детекторов; $U_K(\varepsilon)$ – компонента инструментальной неопределенности в относительных единицах (при $k = 2$), выражающая пределы погрешности калибровки средства измерения (всего комплекса трекового метода), которая, например, для экспозиметра РЭИ-4 с пленочным детектором типа LR-115 не превышает 0,30 ($k = 2$) с учетом наиболее значимых факторов влияния, включая продолжительность экспозиции.

Б3.2. Качество измерений трековым методом достигается за счет контроля инструментальной неопределенности, управление которой, согласно (Б3), связано с анализом количества регистрируемых треков, а также компоненты $U_K(\varepsilon)$. Значение этой компоненты неопределенности (или пределов погрешности), а также соответствующее ей значение чувствительности трекового детектора ε и максимально допустимое количество фоновых треков N_0 должны быть установлены в сертификате соответствия типу средства измерения (СИ). Соответствие $U_K(\varepsilon)$ установленному значению должно подтверждаться при периодической поверке СИ, а параметра N_0 – по результатам испытаний каждой новой партии трековых детекторов.

Б4. Инструментальная неопределенность метода непрерывных измерений

Б4.1. Выражение относительной инструментальной неопределенности метода непрерывных измерений U_{II} вытекает из (Б1) и имеет следующий вид (при $n_{\phi} = 0$) [7]:

$$U_{II} = \sqrt{\frac{4}{C(t) \cdot \varepsilon \cdot t} + U_K^2(\varepsilon)}, \quad (\text{Б4})$$

где $C(t)$ – ОА радона в Бк/м³, измеренная монитором за период t (в часах), определяемая как отношение средней скорости счета импульсов к чувствительности монитора; ε – чувствительность или калибровоч-

ный фактор монитора радона, выражаемая через имп/час на 1 Бк/м^3 или $1/(\text{ч}\cdot\text{Бк/м}^3)$, определяется как отношение средней скорости счета импульсов монитора к средней ОА радона, измеренной образцовым монитором за период испытания монитора(ов); $U_K(\varepsilon)$ – компонента инструментальной неопределенности в относительных единицах (при $k = 2$), выражающая пределы погрешности калибровки средства измерения, которая, например, для мониторов радона типа RadonEye или RadonEye Plus2 (Южная Корея) и Corentium Home или Wave Radon (Норвегия) не превышает 0,30 ($k = 2$) при ε равном $0,84 \text{ 1}/(\text{ч}\cdot\text{Бк/м}^3)$ для корейских мониторов и $0,025 \text{ 1}/(\text{ч}\cdot\text{Бк/м}^3)$ для норвежских мониторов [7].

Б4.2. Качество измерений достигается путем контроля инструментальной неопределенности, управление которой, согласно (Б4), связано с анализом параметра ε с учетом $C(t)$ и t (либо регистрируемой скорости счета импульсов), а также компоненты $U_K(\varepsilon)$. Значение этой компоненты неопределенности (или пределов погрешности), а также соответствующее ей значение чувствительности ε должны быть установлены в сертификате соответствия типу средства измерения (СИ). Соответствие $U_K(\varepsilon)$ установленному значению должно подтверждаться при периодической поверке СИ.

Б4.3. В отличие от СИ на основе угольного и трекового методов, разнообразные типы мониторов ОА радона выпускаются большим количеством производителей (в основном, за рубежом). Однако до сих пор отсутствуют четкие метрологические требования как в международной, так и отечественной практике регулирования по части стандартизации, которые должны обеспечивать единство измерений ОА радона с целью оценки соответствия помещений зданий требованиям Норм радоновой безопасности [3,6,7]. Поэтому ниже приводятся рекомендации регулирующим органам и метрологическим службам, а также пользователям и производителям мониторов радона с целью их максимально эффективного применения в рамках рационального критерия оценки соответствия.

Б4.3.1. Калибровка мониторов радона и оценка ее неопределенности

Б4.3.1.1. Неопределенность $U_K(\varepsilon)$ в основном зависит от колебаний влажности, температуры, концентрации пыли и аэрозольного состава воздуха, а также ОА радона, изменение которой в широком диапазоне может нарушать линейность калибровки мониторов. Кроме этого, больший или меньший вклад вносят вариации характеристик самого детектора как электронного устройства, тем более, с учетом вариаций характеристик сцинтилляционных материалов, если применяются.

Вариации концентрации пыли и аэрозольного состава воздуха в условиях нормальной эксплуатации помещений зданий обычно не оказывают значимого влияния на чувствительность мониторов в течение 3–5 лет службы. Кроме того, важно учитывать, что основные целевые (нормативные, референтные и другие контрольные) уровни ОА радона в любых зданиях и сооружениях не превышают 1000 Бк/м^3 . Поэтому значение 1000 Бк/м^3 или, по крайней мере, значение 3000 Бк/м^3 целесообразно принимать в качестве верхней границы диапазона измерений ОА радона, в интервале которого гарантируется соответствие установленным значениям ε и $U_K(\varepsilon)$ согласно Б4.3.4. К тому же точность измерений достаточно высокой ОА радона, превышающей 1000 Бк/м^3 , практически не влияет на надежность оценки соответствия с использованием критериев (1) и (2).

Б4.3.1.2. Учитывая соображения выше, допускается (даже предпочтительно) проводить испытания мониторов, помимо традиционно применяемых метрологическими службами боксов со стабильной или плавно изменяющейся ОА радона, в естественной или регулируемой (как в боксах) воздушной среде помещений (объемом не менее 15 м^3) с характерными временными (суточными) вариациями ОА радона, не выходящими за пределы диапазона от 10 до $1000\text{--}3000 \text{ Бк/м}^3$ (ориентировочно), а также средней ОА радона за время испытания в диапазоне от 50 до $500\text{--}800 \text{ Бк/м}^3$ (ориентировочно).

Б4.3.1.3. Следует учитывать, что чем ниже средняя ОА радона, тем больше должна быть продолжительность испытания t (в часах), которая определяется вытекающим из (Б4) выражением следующего вида (при $U_K(\varepsilon) = 0$) [7]:

$$t = \frac{4}{C(t) \cdot \varepsilon \cdot U_{Cm}^2}, \quad (\text{Б4.1})$$

где U_{Cm} – статистическая компонента неопределенности $U_{И}$, выраженная в относительных единицах при $k = 2$.

Продолжительность испытания должна обеспечивать минимизацию вклада статистической компоненты U_{Cm} , значение которой как для испытуемых, так и образцового монитора, не должно превышать 0,05 при оценке t по формуле (Б4.1), выбирая большее значение t при одновременных (параллельных) измерениях с мониторами разного типа.

Б4.3.1.4. Значение $U_K(\varepsilon)$ для испытуемых мониторов одного типа определяется (при $k = 2$) без учета малого вклада компоненты U_{Cm} (менее 5%) на основе выражения, которое включает две другие компоненты неопределенности, а именно, стандартное отклонение и погрешность смещения ε [7]:

$$U_K(\varepsilon) = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum(C_i - C_{cp})^2}{C_{cp}^2 \cdot (m-1)} + (C_{cp}/C_{обр} - 1)^2}, \quad (\text{Б4.2})$$

где C_i – ОА радона, измеренная на i -м мониторе за период испытания; m – количество испытуемых мониторов одного типа (см. Б4.3.1.6); C_{cp} – средняя ОА радона по всем m мониторам; $C_{обр}$ – ОА радона, измеренная параллельно с помощью образцового монитора, который должен иметь действующий аттестат или свидетельство о поверке с установленными значениями ε и $U_K(\varepsilon)$ при $k = 2$ (если $k = 1$, то принимается удвоенное значение неопределенности калибровки); если данные о неопределенности калибровки образцового монитора отсутствуют, тогда используется значение параметра, называемого «неопределенность измерения» или «погрешность измерения».

Если результат оценки по формуле (Б4.2) оказывается меньше неопределенности калибровки образцового монитора $U_{обр}$ ($k = 2$), тогда значение $U_K(\varepsilon)$ принимается равным $U_{обр}$ для испытуемых мониторов [7].

Б4.3.1.5. В случае значимого вклада погрешности смещения (последнее слагаемое под корнем в уравнении (Б4.2)) значение $U_K(\varepsilon)$ поддается снижению путем уточнения (корректировки) калибровочного фактора ε , используя выражение:

$$\varepsilon = \varepsilon_{нач} \cdot (C_{cp}/C_{обр}), \quad (\text{Б4.3})$$

где $\varepsilon_{нач}$ – начальное значение калибровочного фактора.

После установки на всех испытуемых мониторах уточненного значения ε испытания для оценки $U_K(\varepsilon)$ проводятся снова, согласно Б4.3.1.4.

Б4.3.1.6. Если испытаниям в соответствии с пунктами Б4.3.1.4 и Б4.3.1.5 подвергались не менее 20 мониторов одного типа [7], то значения ε и $U_K(\varepsilon)$ могут применяться в дальнейшем при производстве новых мониторов того же типа (или иного типа, но с таким же детектором и конструкцией измерительной камеры) без проведения подобных испытаний в течение нескольких лет или периода действия сертификата о соответствии средства измерений, также учитывая результаты периодической поверки мониторов того же типа.

Б4.3.1.7. Если калибровке подлежат мониторы радона с повышенной точностью при $U_K(\varepsilon) < (15-20)\%$ ($k = 2$), тогда испытания проводятся с каждым монитором отдельно, а значение $U_K(\varepsilon)$ определяется по формуле (Б4.2), в которой первое слагаемое под корнем не учитывается, а C_{cp} принимается как ОА радона, измеренная испытуемым монитором. Индивидуальное значение ε также поддается уточнению в соответствии с формулой (Б4.3).

В любом случае индивидуальное значение $U_K(\varepsilon)$ при $k = 2$ также не может быть меньше неопределенности калибровки образцового монитора $U_{обр}$ ($k = 2$) [7].

Б4.3.1.8. Надежность оценки соответствия в рамках критериев (1) и (2) практически не зависит от ε и $U_K(\varepsilon)$, если продолжительности теста не превышает 1–2 месяца [7], в то же время процедуры испытаний мониторов с низкой чувствительностью занимают существенно больше времени по сравнению с высокочувствительными мониторами, согласно (Б4.1).

Б4.3.2. Контроль фона новых мониторов радона

Б4.3.2.1. Дополнительной метрологической характеристикой мониторов радона является собственный фон детектора, который обычно выражается как эквивалентная ОА радона, тоже в Бк/м³. Фон новых мониторов радона обычно не превышает 3 (максимум 5) Бк/м³, однако по мере эксплуатации фон мониторов может увеличиваться до 10–20 Бк/м³, а при частом измерении высоких концентраций радона фон может превысить 50–100 Бк/м³. В рамках критериев (1) и (2), учитывая значения $S_{ну}$, которые обычно выше 100 Бк/м³, фон мониторов ниже 10 Бк/м³ практически не оказывает влияния на надежность оценки соответствия, поэтому он не учитывается в расчетах, согласно выражению (Б4). Эквивалентный фон, превышающий 15–20 Бк/м³, можно отслеживать и учитывать (путем его вычитания), что, однако, усложняет обеспечение качества измерений, поэтому дальнейшее использование мониторов, фон которых превышает 10–15 Бк/м³, рекомендуется прекращать, по крайней мере, для тестирования зданий в рамках критериев (1) и (2).

Б4.3.2.2. Фон новых мониторов определяется в максимально очищенной от радона среде с помощью одного из следующих двух способов.

Способ 1 основан на непрерывной прокачке (фильтрации) воздуха через достаточный объем активированного угля в замкнутом контуре, включающем закрытый бокс с испытываемыми мониторами.

Способ 2 основан на заполнении закрытого бокса с испытываемыми мониторами газообразным азотом, который предварительно выдерживался не менее одного месяца в баллоне под высоким давлением.

Б4.3.2.3. Продолжительность контроля фона новых мониторов должна обеспечивать минимизацию вклада статистической компоненты $U_{См}$, значение которой не должно превышать 0,20–0,30 при оценке t по формуле (Б4.1).

Б4.3.2.4. Верхняя граница допустимого значения фона новых мониторов одного типа (эквивалентный фон) соответствует максимальному результату измерений ОА радона среди не менее 7 испытываемых мониторов.

Полученное значение эквивалентного фона может применяться в дальнейшем для характеристики произведенных новых мониторов того же типа (или иного типа, но с таким же детектором и конструкцией измерительной камеры) без проведения подобных испытаний в течение нескольких лет или периода действия сертификата о соответствии средства измерений.

Б4.3.3. Периодическая поверка мониторов радона

Б4.3.3.1. Периодическая поверка мониторов радона должна проводиться метрологическими службами с временным интервалом, который определяет производитель при согласовании с метрологической службой. Если анализ результатов ежегодной поверки мониторов одного типа показывает удовлетворительную статистику (например, не более 1% случаев отбраковки), тогда целесообразно увеличение интервала поверки.

Допускается проведение самостоятельного периодического (через 1–2 года) контроля работы непрофессиональных мониторов радона, у которых неопределенность калибровки (или измерения) превышает 30% ($k = 2$). В этом случае для проведения параллельных сравнительных измерений ОА радона необходимо использование аттестованного (поверенного), либо нового (еще не эксплуатировавшегося) монитора радона с установленными значениями ϵ и $U_K(\epsilon)$, а также эквивалентного фона (далее в этом разделе такой монитор называется образцовым). Описание процедур самостоятельных параллельных измерений, включая критерии сравнения, приводятся ниже.

Б4.3.3.2. Контроль эквивалентного фона испытываемого монитора (который эксплуатируется) должен проводиться в хорошо проветриваемом помещении, в котором средняя ОА радона по показаниям образцового монитора не должна превышать 20 Бк/м³ в течение всего периода испытаний.

Продолжительность проверки эквивалентного фона в таких условиях должна обеспечивать минимизацию вклада статистической компоненты $U_{См}$, значение которой не должно превышать 0,10 при оценке t по формуле (Б4.1), выбирая большее значение t при параллельных измерениях с мониторами разного типа.

Если ОА радона, измеренная на испытуемом мониторе, превышает результат на образцовом мониторе более чем на 15 Бк/м³, дальнейшую эксплуатацию испытуемого монитора радона рекомендуется прекратить.

Б4.3.3.3. Контроль калибровки испытуемого монитора может проводиться в помещении с естественно повышенной ОА радона, колебания и средней уровень которой должен соответствовать диапазонам, указанным в Б4.3.1.2, а микроклиматический режим помещения – условиям п.5.1.4.

Продолжительность проверки калибровочного фактора должна обеспечивать минимизацию вклада статистической компоненты U_{Cm} , значение которой не должно превышать 0,05–0,10 при оценке t по формуле (Б4.1), выбирая большее значение t при параллельных измерениях с мониторами разного типа.

Если относительная разность (по модулю) между результатами измерений ОА радона на испытуемом и образцовом мониторах ($[C_{исп}/C_{обп}] - 1$) превышает относительное значение неопределенности калибровки (или измерения), указанное в свидетельстве (или спецификации) испытуемого монитора, его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена (если в свидетельстве указаны пределы относительной погрешности, то относительная разность определяется без модуля).

Б4.3.4. Основные метрологические характеристики мониторов радона

Учитывая рекомендации и указания выше, целесообразно по каждому из типов мониторов радона, предназначенных для тестирования зданий в рамках рационального критерия оценки соответствия, указывать в спецификациях следующие основные метрологические (и дополнительные) характеристики [7]:

- 1) чувствительность монитора (или калибровочный фактор ϵ);
- 2) неопределенность калибровки монитора $U_K(\epsilon)$, выраженная в относительных единицах при $k = 2$ (вместо традиционно указываемых неопределенности или погрешности измерений, которые зависят от ряда параметров и определяются путем расчета по формуле (Б4));
- 3) эквивалентный фон нового монитора, например, не более 3 Бк/м³;
- 4) верхний диапазон измерений ОА радона, например, 1000 или 3000 Бк/м³, в интервале которого гарантируется соответствие установленным характеристикам 1 и 2 (нижний диапазон измерений ОА радона зависит от чувствительности, неопределенности калибровки, продолжительности измерения и эквивалентного фона монитора, поэтому целесообразно ограничиться указанием характеристики 3 вместо традиционно указываемых нижнего диапазона измерений или минимально измеряемой ОА радона [2,3,6,7], которые не имеют практического значения в метрологическом обеспечении тестирования зданий в рамках рационального подхода на основе критериев (1) и (2);
- 5) продолжительность измерения (в часах или днях) концентрации радона в наружном (атмосферном) воздухе на уровне 10 Бк/м³ со статической неопределенностью 30% при $k = 2$, определяемая по формуле (Б4.1);

6) срок службы непрофессиональных ($U_K(\epsilon) > 30\%$) и профессиональных ($U_K(\epsilon) < 30\%$) мониторов, например, не менее 3–5 лет и 10 лет, соответственно, с вероятностью случаев отбраковки при ежегодной проверке (контроле работы), например, не более 1–2% и 0,5%, соответственно.

Б4.3.5. Отображение результатов измерений на мониторах радона

Производителям мониторов радона следует учитывать рекомендации ниже, способствующие эффективно-му применению мониторов для тестирования зданий в рамках рационального критерия оценки соответствия:

- 1) обязательное отображение периодически обновляющейся средней ОА радона $C(t)$ за все время измерения после старта, а также текущей продолжительности измерения t (в часах, днях и месяцах) с периодом обновления 1 или 3 часа для мониторов с высокой чувствительностью и 12 или 24 часа для мониторов с низкой чувствительностью (результат измерения средней ОА радона должен впервые отображаться только после завершения первого периода);
- 2) дополнительное (функциональное) отображение средней ОА радона только за предыдущий период измерения (без использования принципа скользящего среднего), продолжительность которого 1 или 3 часа для мониторов с высокой чувствительностью и 12 или 24 часа для мониторов с низкой чувствительностью

(такое отображение результата показывает временные колебания радона, хотя их динамика не влияет на критерии оценки соответствия, да и вряд ли интересна многим пользователям);

3) выражение измеренной ОА радона должно также предусматривать отображение расчетного значения инструментальной неопределенности U_H , согласно (Б4), в относительных единицах при $k = 2$;

4) в конструкции монитора необходимо предусмотреть кнопку для старта измерений (защищенную от случайного нажатия), а также запись результатов в память (с одним из заданных выше периодов), которые можно скачать;

5) для удобства метрологического контроля необходимо предусмотреть режим работы монитора, в котором вместо расчетной ОА радона отображаются зарегистрированные импульсы или средняя скорость счета импульсов (после начала измерений), включая продолжительность измерений в часах и минутах;

6) независимо от установленного верхнего диапазона измерений ОА радона, а также степени нарушения линейности калибровки мониторов необходимо всегда отображать (включая записывать в память) результат измерений (вплоть до значения 999999 Бк/м³), возможно исключая величину U_H , если превышен верхний диапазон измерений. В случае блокировки вывода результатов, превышающих верхний диапазон измерений (что, к сожалению, реализовано в некоторых моделях мониторов), средняя ОА радона за период теста получается заниженной при его экстремально высоких уровнях, либо не поддается определению вовсе, что существенно затрудняет работу, связанную с мероприятиями по защите зданий от радона.