

УДК 614.8.086.5

Л.А. ГУЛАБЯНЦ, д-р техн. наук, А.А. ЦАПалОВ, канд. техн. наук, НИИ СФ РААСН (Москва)

Радонопроницаемость тяжелого бетона

Приведены результаты экспериментального исследования диффузионной радонопроницаемости тяжелого бетона, используемого для возведения подземных монолитных ограждающих конструкций зданий. Даны рекомендации по определению расчетных значений коэффициентов диффузии радона в бетоне с учетом его влажности и трещиноватости.

Ключевые слова: радон, коэффициент диффузии, бетон, влажность, радонопроницаемость бетона.

Федеральным законом о радиационной безопасности населения [1], Нормами радиационной безопасности [2] и Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений [3] установлены требования по снижению доз радиоактивного облучения радоном в зданиях. В настоящее время нормированные методы проектного расчета радонозащитной способности ограждающих конструкций и прогноза радонового режима помещений отсутствуют. Существующие методы проектирования мероприятий по противорадовой защите зданий часто приводят к грубым ошибкам, так как не учитывают всех значимых факторов, влияющих на формирование радоновой обстановки в помещениях. С целью устранения отмеченного пробела в НИИ СФ РААСН разработана теоретическая основа проектного метода расчета радонового режима помещений. При разработке метода помещение рассматривали как элемент единой системы, включающей грунтовое основание здания, его ограждающие конструкции, систему вентиляции, внешнее воздушное пространство. Для практической реализации данного метода необходим набор исходных данных о физических свойствах материалов ограждающих конструкций здания и грунтов в его основании – концентрации радия-226 (первоисточника радона), коэффициента эманирования и диффузии радона в материалах. Наименее исследована из перечисленных характеристик диффузионная радонопро-

ницаемость материалов, литературные данные об этой характеристике малочисленны и противоречивы. Известные методы и средства ее экспериментального определения все еще обладают существенными недостатками и в данное время находятся в стадии развития. Главные из них – большая длительность эксперимента и недостаточная точность получаемого результата.

В связи с этим одновременно с разработкой метода расчета радонового режима зданий [4] в НИИ СФ вели разработку нового высокопроизводительного метода определения коэффициентов диффузии в строительных материалах [5], завершившуюся созданием двух экспериментальных установок [6], реализующих этот метод (рис. 1).

В статье публикуются результаты исследования диффузионной радонопроницаемости тяжелого бетона – основного материала, используемого при изготовлении монолитных подземных ограждающих конструкций. Цель исследования заключалась в установлении зависимости коэффициента диффузии радона в бетоне от его влажности.

В соответствии с требованиями к проведению измерений на экспериментальных установках размеры подлежащих исследованию цилиндрических проб были подобраны: диаметр $82 \pm 0,3$ мм, высота 51 ± 1 мм.

Для изготовления проб были использованы разборные формы из листового пластика (рис. 2). Формование проб



Рис. 1. Общий вид экспериментальных установок для определения коэффициента диффузии радона в материалах



Рис. 2. Общий вид разборных форм для изготовления проб бетона



Рис. 3. Общий вид держателей с установленными в них пробами бетона

выполняли на Краснопресненском заводе железобетонных конструкций (Москва) при содействии начальника испытательной лаборатории завода И.Н. Верскаинной и ее сотрудников. Состав использовавшейся бетонной смеси: портландцемент марки 400, гранитный щебень фракций 5–20 мм, добавки. Класс бетона В30, марка по водонепроницаемости W4, плотность в сухом состоянии 2255 кг/м³.

Подготовка проб для исследования включала в себя: выравнивание их торцевых поверхностей, нанесение на цилиндрические поверхности гидрогазонепроницаемого покрытия, герметичную фиксацию проб в держателях, входящих в комплекты экспериментальных установок. Общий вид подготовленных к проведению измерений проб в держателях показан на рис. 3.

Для гидрогазоизоляции боковых поверхностей проб использовали эпоксидный клей марки ЭДП с коэффициентом диффузии радона менее 10^{-12} м²/с.

Покрывать наносили на пробы после набора бетоном прочности в течение 30 сут и сушки в термощкафу при 45°C до абсолютно сухого состояния. На первом этапе эксперимента были определены коэффициенты диффузии радона в абсолютно сухих пробах. Затем пробы были погружены в воду и доведены до состояния полного водонасыщения. Коэффициенты диффузии для влажных проб определяли

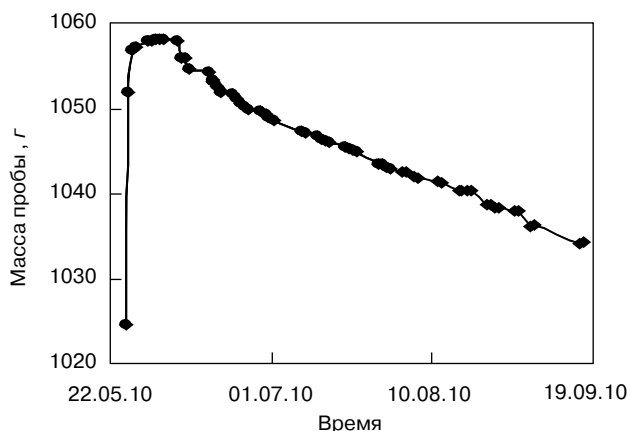


Рис. 4. Изменение суммарной массы пробы и держателя в процессе исследования. Маркерами обозначены моменты проведения измерений

начиная с этого состояния и далее при различной влажности, которую снижали по мере проведения испытаний за счет высыхания проб. Изменение влажности проб в процессе эксперимента показано на рис. 4.

Влажность образцов определялась в начале и конце каждого цикла измерений, длительность которого не превышала 16 ч. Окончательно влажность испытанной пробы определялась как среднее арифметическое значение влажности в начале и конце каждого цикла измерений. Максимальное уменьшение влагосодержания пробы в течение одного измерительного цикла не превышало 2%.

Для оценки достоверности полученных в работе результатов в таблице приведены результаты исследований диффузионной радонопроницаемости сухого тяжелого бетона в воздушно-сухом состоянии, полученные другими исследователями.

Учитывая неизбежные различия в составе использовавшихся разными авторами бетонных смесей водоцементного отношения и условий твердения бетона, можно отметить хорошее согласование сравниваемых результатов. Аналогичные данные для бетонов в состоянии их повышенной влажности авторами не обнаружены.

Установленная в работе зависимость коэффициента диффузии радона в пробах бетона от его влажности показана на рис. 5.

Приведенные выше результаты были получены при исследовании проб небольшого размера, в которых практически отсутствовали усадочные трещины.

Вместе с тем известно, что при изготовлении монолитных бетонных конструкций значительных размеров избежать образования усадочных трещин практически невозможно. В течение первых дней твердения бетона могут возникать усадочные трещины, обусловленные быстрым высыханием внешней поверхности свежесуложенного бетона. Трещины могут образовываться в результате гидратационного нагрева твердеющего бетона. Возникающая при этом температурная деформация материала также может привести к образованию трещин, так как бетон в первые часы после схватывания обладает небольшой прочностью. Несмотря на то, что способы повышения трещиностойкости бетона известны, несомненный практический интерес требует оценки эффективной диффузионной радонопроницаемости бетона с учетом его трещиноватости. В связи с этим обращает на себя внимание публикация [13], авто-

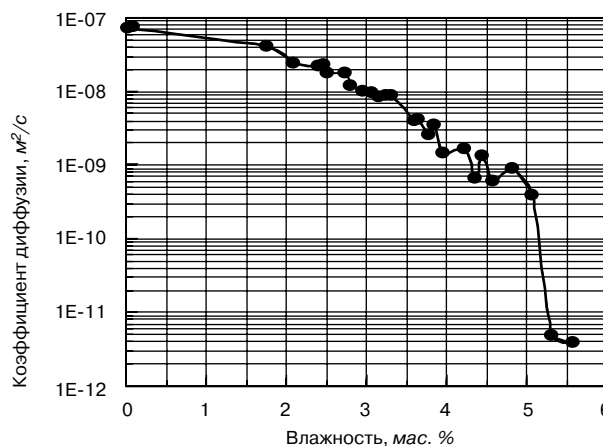


Рис. 5. Зависимость коэффициента диффузии радона в монолитных пробах бетона от его влажности

Источник	Коэффициент диффузии радона, м ² /с
Результат исследования НИИ СФ (2010)	$(1,7-3,93) \times 10^{-8}$
Culot et al. (1976) [7]	$(1,69-3,08) \times 10^{-8}$
Rogers et al. (1994) [8]	$(0,46-1,8) \times 10^{-8}$
Snoddy. (1994) [9]	$(1,84-3,83) \times 10^{-8}$
Renken and Rosenberg (1995) [10]	$(4,38-14,7) \times 10^{-8}$
Maas and Renken (1997) [11]	$(2,06-3,93) \times 10^{-8}$
Daoud and Renken (1999) [12]	$(0,97-1,22) \times 10^{-8}$

ры которой приводят полученные ими данные о коэффициенте диффузии радона в сухом трещиноватом бетоне. В [13] приведены результаты экспериментального определения эквивалентного коэффициента диффузии радона в цилиндрическом образце бетона площадью 62 см² и толщиной 10,16 см со сквозной трещиной шириной 1,27 мм. При отношении площади поперечного сечения трещины к площади образца 0,18 величина коэффициента диффузии радона составила $1,08 \times 10^{-7}$ м²/с при стандартном отклонении, равном $1,01 \times 10^{-8}$ м²/с.

Таким образом, величина коэффициента диффузии радона в бетоне в значительной мере зависит не только от его влажности, но и от степени трещиноватости. При увеличении влажности тяжелого нетрещиноватого бетона от уровня максимальной сорбционной (около 1,5%) до состояния полного водонасыщения (5,5%) коэффициент диффузии радона уменьшается на четыре порядка (от $3,9 \times 10^{-8}$ до $3,8 \times 10^{-12}$ м²/с). При расположении негидроизолированных подземных ограждающих конструкций в водонасыщенных грунтах бетон насыщается водой и становится практически радононепроницаемым. При расположении конструкции в необводненном грунте влажность бетона достаточно низка, а радонопроницаемость велика. Это вызывает необходимость дополнительной газоизоляции конструкции, эффективность которой должна быть тем выше, чем меньше толщина слоя бетона и больше мощность источника радона в грунте. Требуемые параметры противорадовой защиты конструкции в таких случаях рекомендуется определять расчетным путем [4].

Поскольку в реальных конструкциях слои бетона могут быть толщиной от 10 см, например, плита пола подвала, до 2,5 м и более (фундаментные плиты), усадочные трещины в бетоне имеют разный характер. Сквозные трещины чаще всего образуются в тонких слоях бетона. В конструкциях достаточно большой толщины обычно образуются поверхностные трещины. Трещины различного характера по-разному влияют на радонопроницаемость конструкции. До проведения детальных исследований зависимости коэффициента диффузии радона в бетоне от степени и характера его трещиноватости расчетное значение этого коэффициента для конструкций толщиной до 200 мм рекомендуется принимать равным $1,1 \cdot 10^{-7}$ м²/с. Для расчета конструкций со слоями бетона толщиной более 600 мм расчетное значение коэффициента диффузии радона целесообразно принимать соответствующим нетрещиноватому материалу с 1,5–2% влажностью, т. е. равным $1,8 \times 10^{-8}$ м²/с. В прочих случаях в первом приближении расчетное значение рекомендуется принимать как промежуточное между вышеприведенными величинами.

Список литературы

1. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения». № 3-ФЗ от 09.01.1996.
2. СанПиН 2.6.1.2523 – 09. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009).
3. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». № 384. ФЗ. 30.12.2009.
4. Гулабянц Л.А. Определение требуемой радонозащитной способности подземных ограждающих конструкций зданий. // Жилищное строительство. 2009. № 7. С. 34–38.
5. Гулабянц Л.А., Лившиц М.И., Цапалов А.А. Теоретическая основа нестационарного метода измерения коэффициента диффузии радона в пористой среде // АНРИ. 2006. № 2. С. 43–45.
6. Гулабянц Л.А., Цапалов А.А. Экспериментальное устройство для измерения коэффициента диффузии радона в материалах // АНРИ. 2006. № 4. С. 35–37.
7. Culot M.V.J., Olson H G., Schiager K.J. Effective diffusion coefficient of radon in concrete, theory and field measurements // Health Physics. 1976. Vol. 30. P. 263270.
8. Leung J.K.C., Ng C., Tso M.W. Radon release from building materials in Hong-Kong // Health Physics. 1994. Vol. 67. Pp. 378–384.
9. Rogers V.C., Nielson K.K., Lehto M.A., Holt R.B. Radon Generation and Transport Through Concrete Foundations // Salt Lake City, UT: Rogers & Associates Engineering Corp. report RAE-9226/1-2. 1993. May.
10. Snoddy R. Laboratory assessment of the permeability and diffusion characteristics of Florida concretes, phase I, methods development and testing // EPA-600/R-94-053.
11. Renken K.J., Rosenberg T. Laboratory Measurements of the Transport of Radon Gas Through Concrete Samples. // Health Physics, 1995. Vol. 68. No. 6. Pp. 800–808.
12. Maas J.J., Renken K.J. Laboratory assessment of cementitious coatings as a barrier to radon gas entry // The 1997 International Radon Symposium. 1.1 – 1.13 Cincinnati. OH: AARST. 1997.
13. Daoud W., Renken K.J. Laboratory assessment of flexible thin-film membranes as a passive barrier to radon gas diffusion // Proceedings of Radon in the Living Environment Workshop. Athens. Greece. 1999. April. Pp. 19–23.