

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАДОНОЗАЩИТЫ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ

ГУБСКАЯ А. Г., ВАШКЕВИЧ Т. А., УШАКОВА Н. И.
Государственное предприятие «Институт НИИСМ»
Минск, Беларусь

Интенсификация развития промышленности, происходившая во второй половине XX столетия, имеет, к сожалению, ряд неблагоприятных последствий, приводящих к ухудшению условий существования человека. Одним из таких отрицательных экологических последствий явилось увеличение радиационного фона, создаваемого как природными, так и искусственными (техногенными) источниками излучения. Это характерно и для Беларуси, 22,4 % территории которой была загрязнена радионуклидами в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС.

На радиационный фон оказывают влияние природные источники излучения. Известно, что природные источники ионизирующего излучения вносят основной вклад в дозу облучения населения. Средняя эффективная эквивалентная доза, обусловленная природными источниками, составляет около $2/3$ дозы от всех источников ионизирующего излучения, воздействующих в настоящее время на человека. Поскольку люди большую часть времени проводят внутри жилых и производственных помещений, на дозу от природных источников ионизирующего излучения существенно влияют радон и продукты его распада, а также гамма-излучающие естественные радионуклиды, содержащиеся в строительных материалах и конструкциях.

Из вышеизложенного видна важность решения проблем защиты от радона в зданиях и сооружениях уже на стадии их проектирования и далее – строительства и эксплуатации.

Государственным предприятием «Институт НИИСМ» на протяжении последних десяти лет планомерно проводятся комплексные исследования радиационной безопасности строительных матери-

лов и сырья для их производства, а также радиобезопасности проектируемых, вновь построенных и эксплуатируемых зданий и сооружений.

Исторически вредное влияние радона на человеческий организм было замечено еще в XVI веке, когда таинственная болезнь горных духов шахтеров длительное время привлекала внимание медиков: смертность от рака легких среди рудокопов была в 50 раз выше, чем среди прочего населения. Значительно позже анализ причин смерти работников шахт на урановых рудниках Европы в южной Германии и Чехословакии показал, что от 30 до 50 % горняков, работающих в урановых шахтах, умирает от рака легких. Поэтому работы по изучению радиационного воздействия радона стали интенсивно развиваться.

К настоящему времени в различных странах накоплена достаточно обширная информация о содержании радона в жилых и служебных помещениях. Эти данные постоянно пополняются и уточняются, поэтому представления о средних концентрациях радона в зданиях и его ПДК претерпевают изменения [1–4].

Документом, определяющим правовые основы обеспечения радиационной безопасности, является Закон Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения», утвержденный Президентом Республики Беларусь 05.01.98 г. № 122-3. Статья 13 данного документа регламентирует следующее: «В целях защиты населения и работников (персонала) от влияния природных радионуклидов должны осуществляться:

- выбор земельных участков для строительства зданий и сооружений с учетом уровня выделения радона из почвы и гамма-излучения;
- проектирование и строительство зданий и сооружений с учетом предотвращения поступления радона в воздух этих помещений;
- проведение производственного контроля строительных материалов, приемка зданий и сооружений в эксплуатацию с учетом уровня содержания радона в воздухе помещений и гамма-излучения природных радионуклидов;
- эксплуатация зданий и сооружений с учетом уровня содержания радона в них и гамма-излучения природных радионуклидов.

При невозможности соблюдения нормативов содержания радона и гамма-излучения природных радионуклидов в зданиях и сооружениях должен быть изменен характер их использования».

Нормативная база обеспечения радонобезопасности на участках застройки определена Санитарными нормами и правилами «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения».

В настоящее время в странах Европейского союза экспертами по радиационной защите рекомендованы следующие нормативные значения активности радона: 200 Бк/м³ – для новых жилых зданий и 400 Бк/м³ – для старых. В таблице 1 приведены нормативы эквивалентной равновесной концентрации радона в воздухе жилых зданий.

Таблица 1

Нормативы концентрации радона в воздухе жилых зданий

Страна	Концентрация радона, Бк/м ³		Примечание
	Существующие здания	Вновь построенные здания	
Швеция	400	70	Принято в 1980 г., после осуществления мероприятий – 200 Бк/м ³
Финляндия	400	100	Принято в 1986 г.
США	200	–	Предложено в 1984 г.
Канада	400	–	Предложено в 1985 г.
Германия	200	–	Предложено в 1986 г.
Великобритания	200	50	Предложено в 1987 г.
МКРЗ	200	100	Публикация 39
Россия	200	100	НРБ-2000. Вопрос о переселении, перепрофилировании или сносе здания решается при невозможности снижения менее 400 Бк/м ³
Республика Беларусь	200	100	СанПиН от 28.12.2012 г. № 213 – «Требования к радиационной безопасности»

Данные таблицы 1 показывают, что в Республике Беларусь действуют международные нормы эквивалентной равновесной концентрации радона в воздухе жилых зданий. Для снижения доз от до-

черных продуктов радона имеются широкие возможности. Одна из наиболее эффективных мер – оценка радоноопасности проектируемого здания до его строительства.

Поскольку радон является предвестником землетрясений, до последнего времени считалось, что территория Беларуси является радонобезопасной. Последние исследования опровергли этот факт. Установлено, что с геологической точки зрения, более 40 % территории Беларуси являются потенциально радоноопасными. Наиболее потенциально радоноопасные следующие территории: на юге республики – зоны, связанные с Микашевичско-Житковичским горстом и выступами Украинского кристаллического щита; на западе территория, связанная с белорусским кристаллическим массивом. Аномально высокие содержания радона в почвенном воздухе надразломных зон установлены на Горецко-Шкловском и других участках области. При среднефоновых концентрациях около 1000 Бк/м³ содержание радона в почвенном воздухе зон активного разлома возрастало до 15 000–25 000 Бк/м³. В Минске, например, есть два разлома, проходящие через весь город: первый – по линии Щемыслица-Уручье проходит примерно через Курасовщину, Минск-Южный, район тракторного завода, Степянку, второй – параллельно линии Семково-Сосны, примерно через улицу Енисейскую, район улицы Кошевого, площадь Победы, а вторая его часть от площади Независимости вдоль улицы Тимирязьева через Веснянку и дальше [5].

По результатам исследований, проведенных Государственным предприятием «Институт НИИСМ», в районах с обычным уровнем естественного фона содержание радона-222 в воздухе жилых помещений составляет в среднем 30–40 Бк/м³ – зимой и 25–35 Бк/м³ летом, что объясняется изменением режима вентиляции. Среднегодовая величина, равная 30 Бк/м³, близка к среднемировому значению – 40 Бк/м³. Диапазон концентраций радона-222 в помещениях достаточно велик – от 4 до 100 Бк/м³, что объясняется влиянием совокупности факторов: типа подстилающих пород, материала конструкций зданий, выделения радона-222 из водопроводной воды, бытового газа и др. Концентрация радона-222 и роль отдельных факторов, регулирующих эту величину, меняются в зависимости от типа зданий: в одноэтажном доме концентрация радона-222, как правило, выше, чем в квартирах многоэтажного дома, за счет поступления и

накопления радона-222 в воздухе помещений из почвы. Концентрации продуктов распада радона-222 в воздухе помещений примерно на 20 % ниже концентрации материнского радионуклида [6, 7].

Решение о необходимости проектирования противорадоновой защиты принимается по результатам радиационно-экологических изысканий: для проектируемых зданий по значениям плотности потока радона с поверхности, которая не должна превышать 80 мБк/(м²с), для построенных зданий – по значениям объемной равновесной активности радона, которая не должна быть более 100 Бк/м³.

Противорадоновая защита здания должна осуществляться как система логически связанных технических решений, реализуемых в рамках принятой концепции проекта при разработке его всех основных частей (объемно-планировочном решении, проектировании ограждающих конструкций, систем отопления, вентиляции, канализации, электро- и водоснабжения и т. п.). Неудачное решение одного из элементов такой системы защиты может существенно снизить эффективность системы в целом.

Поэтому в последнее время в мире увеличивается объем исследований, посвященный разработке как принципов радонозащиты, так и материалов для ее осуществления [1–4, 8]. Необходимо отметить, что принятые меры на стадии проектирования зданий по снижению радона, всегда будут обходиться намного дешевле, чем любые меры по радонозащите в уже существующем здании.

Радон – естественный радиоактивный инертный газ, образуемый при распаде радия-226, входящего в семейство урана. Благодаря относительно большому периоду полураспада (3,82 дня) и газообразному состоянию радон может распространяться по порам и трещинам почв земных пород; выходить в воздух помещений и в атмосферу. Основными источниками поступления радона в воздух помещений является его выделение из почвы под зданием, а также из строительных конструкций.

Из почвы под зданием и строительных материалов радон мигрирует по порам и трещинам. Происходящие при этом процессы обусловлены двумя основными механизмами – диффузионным, то есть наличием градиента концентрации радона в среде и конвективным, вызванным наличием разности давлений между внутренним объемом здания и внешней атмосферой, различными частями здания.

Пути проникновения радона могут стать практически любые неплотности в оболочке здания, расположенные ниже уровня земли: трещины в перекрытиях, открытые участки почвы в подвальном помещении или подпольном пространстве, вводы труб и коммуникаций, стыки между плитами и блоками и др.

С учетом определенных значений плотности потока радона с поверхности грунта принимаются технические решения по проектированию противорадоновой защиты для проектируемых или уже построенных зданий. Суть противорадоновой защиты в ее препятствии поступлению радона в помещении.

Конструктивные решения для осуществления радонозащиты, а также применяемые для этого материалы приведены в ТКП 45-2.03-134-2009 «Порядок обследования и критерии оценки радиационной безопасности строительных площадок, зданий и сооружений» в версии 2019 г., разработанном Государственным предприятием «Институт НИИСМ» на основе экспериментальных исследований, проведенных в период 2009-2019 гг.

При подборе строительного сырья и материалов для строительства зданий и сооружений, с учетом удельной активности радия (как потенциального источника), можно регулировать поступление радона в помещения от материалов конструкций здания. Особенно это касается радоноопасных участков, отведенных под строительство.

Одновременно с определением концентрации радона при обследовании определяют значение мощности дозы гамма-излучения. Доза гамма-излучения в помещении определяется в основном эффективной удельной активностью естественных радионуклидов в используемых строительных материалах. Форма и размеры помещения, толщина стен и перекрытий мало влияют на мощность дозы в помещении [6, 7]. Снизить дозу гамма-излучения можно путем отказа от применения в жилищном строительстве материалов с высоким содержанием естественных радионуклидов. В таблице 2 приведены результаты по определению значений мощности дозы гамма-излучения в жилых домах различных лет постройки.

Таблица 2

Измерение мощности дозы гамма-излучения

Материал	Мощность дозы, мкЗв/ч, годы постройки	
	2010–2020 гг.	1970–2010 гг.
Кирпич	0,10±0,03	0,12±0,04
Шлакоблок	0,15±0,04	0,19±0,05
Панельные дома	0,12±0,04	0,14±0,04

Из таблицы 2 видно, что в панельных домах показания мощности дозы гамма-излучения такие же как, в кирпичных, если они были построены 40–50 лет назад. Панельные здания изначально обладают повышенными значениями мощности дозы гамма-излучения. В домах, построенных не более 5 лет назад, мощность дозы гамма-излучения близка к фоновым значениям для данной местности. В домах, построенных 20–30 лет назад, показания мощности дозы гамма-излучения на 0,02–0,03 мкЗв/ч выше, чем в домах, построенных недавно.

Поступление радона в помещения от строительных материалов обусловлено их эманированием. Скорость поступления эманации из строительных материалов зависит от произведения удельной активности радия на коэффициент эманирования радона (эффективной удельной активности радия). Эффективная удельная активность радия в процессе переработки строительного сырья в стройматериалы, претерпевает существенные изменения. Одинаковые строительные материалы могут обладать различными показателями по эффективной удельной активности радия. Наибольшей эффективной удельной активностью радия обладают гранитный щебень, некоторые глины, а также ряд отходов промышленности, используемых в производстве стройматериалов [9, 10].

Для обеспечения радонобезопасности в зданиях и сооружениях необходим подбор строительных материалов, позволяющих значительно снизить процессы эманирования радона. И увеличить коэффициент радонозащиты, рассчитываемый по формуле (1):

$$K = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}, \quad (1)$$

где σ_1 – плотность потока радона с поверхности строительной конструкции, мБк/(м² · с);

σ_2 – плотность потока радона с поверхности строительной конструкции, покрытой радонозащитным материалом, мБк/(м²с).

На основании исследований, проведенных в Государственном предприятии «Институт НИИСМ», установлено что, при увеличении плотности бетона с М100 до М500, коэффициент радонозащиты увеличивается с 1,61 до 3,41 при толщине слоя 10 см и с 1,49 до 2,91 при толщине слоя 5 см. Это можно объяснить тем, что при увеличении плотности бетона изменяется его микроструктура: образуются замкнутые поры, не сообщающиеся с поверхностью материала. Благодаря этому снижается скорость эксхалляции Rn-222. Такие материалы могут быть использованы для снижения выделения радона из почвы и, следовательно, поступления его в воздух помещений здания.

Таблица 3

Влияние вида строительных материалов на плотность потока радона с поверхности строительных конструкций

Вид материала	Радонозащитный материал	Плотность потока радона с поверхности, мБк/(м ² с),	Коэффициент радонозащиты
Плотный бетон	–	50	–
	Гидроизоляция	41	1,22
	Пленочное покрытие	40	1,25
	Штукатурный раствор	39	1,29
	Штукатурный раствор + краска	31	1,62
	ГКЛ	31	1,62
	Плиты гипсовые радонозащитные (ПГР)	17	2,95
	ПГР + краска	13	3,85
Керамзитобетон	–	58	–
	Гидроизоляция	52	0,90
	Пленочное покрытие	50	1,16
	Штукатурный раствор	44	1,32
	Штукатурный раствор + краска	34	1,71
	ГКЛ	35	1,66
	ПГР	20	2,90
	ПГР + краска	15	3,87
ПГР+ обои	14	4,15	

Силикатный кирпич	–	37	–
	Гидроизоляция	32	1,16
	Пленочное покрытие	30	1,23
	Штукатурный раствор	28	1,33
	Штукатурный раствор + краска	26	1,43
	ГКЛ	27	1,37
	ПГР	11	3,37
	ПГР + краска	9	4,12
Керамический кирпич	–	49	–
	Гидроизоляция	43	1,14
	Пленочное покрытие	41	1,20
	Штукатурный раствор	39	1,26
	Штукатурный раствор + краска	31	1,58
	ГКЛ	26	1,50
	ПГР	10	3,90

В табл. 3 приведены экспериментально полученные данные влияния вида строительных материалов на плотность потока радона с поверхности строительных конструкций.

По эффективности радонозащиты строительные материалы располагаются в следующем порядке: рулонные гидроизоляционные материалы < полимерные пленочные материалы < штукатурные покрытия < штукатурные покрытия + краска < гипсокартонные листы < гипсовые противорадоновые плиты (ПГР) < гипсовые противорадоновые плиты, покрытые краской или обоями.

На основании проведенных исследований был разработан новый вид радонозащитного материала – плиты гипсовые радонозащитные (ПГР), производство которого внедрено на ОАО «Белгипс» [11–13].

Исследования показывают, что только комплексный подход в решении проблем радонозащиты в зданиях и сооружениях на стадии их проектирования, строительства и эксплуатации позволит снизить дозовую нагрузку на население нашей республики, благоварно влияя на здоровье ее жителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. UNSCER 2000 Report: Annex B.: Exposure from natural radiation sources / United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York: United Nations, 2000. – 74 p.

2. UNSCER 2000 Report: Annex B.: Source-to-effects assessment for radon in homes and workplaces / United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation / – New York: United Nations, 2009.-138p.

3. ICRP Publication 126: Radiological protection against radon exposure // Ann. ICRP. – 2014.-Vol. – № 3. – 73 p.

4. ICRP Publication 115: Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon // Ann. ICRP. – 2010. – Vol. – № 40. № 1. – 64 p.

5. Матвеев, А. В. Радон в природных и техногенных комплексах Беларуси / А. В. Матвеев // Литосфера. – 1996. – № 5.

6. Губская, А. Г. Обеспечение норм радиационной безопасности в строительном комплексе Республики Беларусь // Сборник материалов 5-го Белорусско-Балтийского форума, Минск, 9–10 октября 2019 г. – С. 21–22

7. Губская, А. Г. Обеспечение норм радиационной безопасности в строительном комплексе Республики Беларусь / А. Г. Губская, Т. А. Вашкевич, Н. И. Ушакова // Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития», Минск, 25–27 октября 2017 г. – С. 16–20.

8. Council Directive 2013/59EURATOM of December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90 / 641 / Euratom, 96/29 / Euratom, 9743 / Euratom, 2003/122/Euratom [Electronic resource] // Official Journal of the European Union. – 17.01.2014. – 73 p.

9. Стамат, И. П. Оценка вклада эманирования радона с поверхности облицовочных изделий в облучение населения / И. П. Стамат, А. В. Световидов, Д. И. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2. – № 4. – С. 16–22.

10. Черницкий, А. В. Радиоактивность строительных материалов / А. В. Черницкий, И. П. Лось, В. П. Слабодырь. – К.: Будивельник, 1990. – 37 с.

11. Гончаров, Ю. А. Композиция для изготовления гипсокартонных листов для защиты помещений от проникновения радона (Zusammensetzung von Gipsmischungen zur Fertigung von Gipskarton zum Schutz vor Radon) / Ю. А. Гончаров, Г. Г. Дубровина, А. Г. Губская // Конференция, Веймар, Германия, 21–23 марта, 2017. – С.206–211.

12. Гончаров, Ю. А. Гипсокартон для защиты помещений от проникновения радона / Ю. А. Гончаров, Г. Г. Дубровина, А. Г. Губская // Строительные материалы. – 2017. – № 10. – С.41–44.

13. Композиция для изготовления гипсокартонных листов для защиты помещений от проникновения радона : пат. № 21497 / Ю. А. Гончаров, Г. Г. Дубровина, А. Г. Губская. – 2017.

УДК 666.97

ПРИМЕНЕНИЕ ФИБРЫ ИЗ КОЙРЫ КОКОСА ДЛЯ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

ВАН МИНЮАНЬ, КОВШАР С. Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. С конца 80-х годов прошлого столетия инфраструктура Китая быстро и динамично развивалась. Всего за несколько десятилетий Китай превратился из аграрной отсталой страны в промышленно развитую державу. В стране большими темпами возводятся высотные здания, стремительно развивается строительная отрасль, сооружается большое количество транспортных сооружений и дорог. Снос старых сооружений и интенсивный рост строительства, приводит к проблеме накопления строительного мусора и его утилизации, что наносит серьезный ущерб окружающей среде. В начале 21-го века президент Си Цзиньпин в «Руководящих принципах политики зеленого развития», предложенных на пятом пленарном заседании 18-го съезда Коммунистической партии Китая отмечал: «Утилизация отходов промышленного производства является на сегодняшний момент весьма актуальной задачей. Необходимо разработка современных технологий использования вторичных ресурсов». В настоящей статье рассмотрена возможность использования фибры, получаемой из скорлупы (далее койры) кокосового ореха, для дисперсного армирования конструкционного тяжелого бетона с целью повышения механических и деформационных характеристик.