

УДК 699.887.32

DOI 10.21661/r-468952

И.П. Михнев

КОНЦЕНТРАЦИЯ РАДОНА В ПОМЕЩЕНИЯХ И ЭФФЕКТИВНАЯ ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

***Аннотация:** в данной статье представлены исследования радиационных (радоновых) характеристик помещений Волгоградской области. Цель исследования заключалась в выявлении факторов радиационного фона, обусловленного радоном в объектах гражданского строительства. Установлены закономерности распределения радона на объектах строительного комплекса в зависимости от влияния различных факторов. Исследования позволили рассчитать усредненные годовые эффективные эквивалентные дозы облучения населения Волгоградской области, обусловленные радоном и дочерними продуктами распада.*

***Ключевые слова:** радон, дочерние продукты распада, объемная активность, эксхалация радона, эффективная эквивалентная доза, индуцирование рака, жилые помещения.*

I.P. Mikhnev

CONCENTRATION OF RADON IN THE PREMISES AND EFFECTIVE EQUIVALENT DOSE OF EXPOSURE TO THE POPULATION OF THE VOLGOGRAD REGION

***Abstract:** this article provides studies of radiation (radon) characteristics of premises in the Volgograd Region. The purpose of the study was to identify factors of the radiation background caused by radon in civil engineering objects. The regularities of radon distribution at the objects of the building complex are determined depending on the influence of various factors. The studies made it possible to calculate the average annual effective equivalent doses of exposure to the population of the Volgograd Region caused by radon and daughter products of decay.*

Keywords: *radon, daughter products of decay, volume activity, radon emission, effective equivalent dose, cancer inducing, living spaces.*

В последние годы население промышленно развитых стран всего мира было твердо убеждено в том, что основная опасность, исходящая от радиационного излучения – это разнообразные выбросы атомной промышленности и ядерные испытания. Однако современная действительность показывает, что на территориях, где не было никаких радиоактивных загрязнений, вдали от атомных предприятий, значительное количество людей, находясь у себя дома, получают внушительную дозу облучения [1].

Еще в XVI веке было известно о трагических последствиях длительного нахождения населения в местах с повышенной концентрацией радона (^{222}Rn). В те годы о тяжелом инертном газе практически ничего не было известно. В горной местности Южной Германии рудокопатели подвергались неизвестному заболеванию – «горной чахотке». Знаменитые в те времена врачи, Парацельс и Агрикола в своих исследованиях доказывали о существовании в рудниках забоев инертных газов. В этих рудниках рабочие испытывали одышку, усиление сердцебиения, многие теряли сознание и умирали. Причем в атмосферном воздухе не было замечено никаких примесей и запаха [1; 2].

В настоящее время практически каждый человек хотя бы раз слышал фразы: «радонотерапия» и «радоновые ванны». Однако не многие знают, какую именно пользу или вред, несет этот инертный тяжелый газ (в 7,5 раз тяжелее воздуха), и как часто можно его использовать в лечебных целях. Несмотря на свою известность в качестве лечебного средства, не стоит забывать, что этот газ, прежде всего, радиоактивное вещество. А это значит, что ^{222}Rn далеко не безопасен для человеческого организма. Микродозы ^{222}Rn , растворенные в предназначенных для ванн минеральных водах, проникая внутрь человеческого организма, оказывают влияние практически на все системы: от кровеносной до нервной. Под воздействием ^{222}Rn , на кожных покровах и в органах возникает эффект ионизации, который инициирует внутренние процессы и приводит в действие регенерационные механизмы человеческого тела. Как и любое лекарственное средство, ^{222}Rn

имеет целый ряд противопоказаний. Лечение ^{222}Rn строго противопоказано людям со злокачественными образованиями, беременным, а также при гипотериозе, гипострогении, выраженной лейкопении и некоторых видах бесплодия. Запрещается использовать ^{222}Rn тем людям, чья профессиональная деятельность заставляет часто находиться в зоне воздействия разнообразных излучений (например, СВЧ, УВЧ и т. д.). Не допускаются к аналогичному лечению люди, у которых наблюдаются кожные заболевания, лихорадочные состояния, тяжело протекающие невроты и при нарушениях работы щитовидной железы [2].

Действительно, уже к 1920-м годам выяснилось, что в микродозах ^{222}Rn оказывается благотворное влияние на организм человека. Однако у всего сущего есть две стороны. Современные исследования выявили, что именно этот, инертный радиоактивный газ ^{222}Rn , более века служащий здоровью населения, – одна из основных причин развития рака легких. Воздействие на живой организм ионизирующего излучения может проявляться в отдаленные сроки (появление генетических эффектов через 10–30 лет). Причиной заболевания становятся дочерние продукты распада (ДПР), оседающие в организме человека после распада газа ^{222}Rn и интенсивно облучающие его изнутри. Часто люди страдают от аналогичного излучения, даже не замечая его. Ведь этот тяжелый инертный газ находится в строительных материалах и выделяться из недр земли в том месте, где построено здание [2; 4].

К началу 40-х годов прошлого века почти никто не сомневался в том, что главная причина рака легких у шахтеров – это альфа-излучение ^{222}Rn . По оценкам Научного комитета по действию атомной радиации Организации объединенных наций (НК ДАР ООН), не существует порога индуцирования молекулярного изменения на особых участках ДНК, затронутых взаимодействием альфа и гамма-излучения, которое приводит к злокачественному образованию и в итоге к развитию рака. Из всех последствий облучения человека, даже малыми дозами, наиболее серьезным заболеванием является – рак. Любая сколь угодно малая доза увеличивает вероятность заболевания раком для человека, получившего эту

дозу, и всякая дополнительная доза облучения ещё более увеличивает эту вероятность. Известно, что появление злокачественных опухолей возрастает прямо пропорционально дозе облучения [3; 4].

Обширные обследования НК ДАР ООН, охватившие около ста тысяч человек, показали, что самыми распространёнными видами рака, вызванными действием альфа и гамма-излучения, оказались рак лёгких, рак молочной и щитовидной железы. Период между получением дозы и распознаванием рака длится многие годы. Этот период называется – латентным. Средний латентный период составляет обычно 8 лет в случае индуцированной лейкемии и в 2–3 раза больше в случае многих индуцированных твёрдых опухолей, например молочной железы или лёгкого. Минимальный латентный период составляет около двух лет для острой миелоидной лейкемии и порядка 5–10 лет для других видов рака [4].

Под руководством ученых в разных областях науки НК ДАР ООН с конца 1970 года, накопленные данные о действии радона на население, были подвергнуты тщательному анализу. В итоге получен важнейший результат: соотношение риск – экспозиция (связь между вероятностью возникновения раковых заболеваний и временем пребывания человека в атмосфере с заданной концентрацией радона) [2–4].

В Федеральном законе «О радиационной безопасности населения», принятом в декабре 1995 г. изложено ограничение облучение населения, обусловленное радоном и дочерними продуктами распада в жилых и производственных зданиях. В дальнейшем эти ограничения были изложены в Нормах радиационной безопасности (НРБ-99). В соответствии с НРБ-99 контролю подлежит, как строительное сырьё, и территории, предназначенные под строительство зданий, так и завершённые строительные конструкции [3; 5]. Также можно отметить, что контроль радиационных характеристик на всех этапах производства и строительства может обеспечить принятие различных альтернативных решений. При этом контроль радиационных характеристик радона только внутри построенных зданий, приведет к значительным финансовым расходам [5; 6].

В основную дозу облучения населения вносят естественные источники ионизирующего излучения. Примерно 3/4 индивидуальной годовой эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от природных источников радиации, вносит ^{222}Rn и его дочерние продукты распада (ДПР). Существенное влияние на дозу, обусловленную радоном, оказывают радиационные характеристики стройматериалов и почвы под зданием, т.к. значительную часть времени (около 80%) население промышленно развитых стран мира, находится внутри помещений. От изменения радиационных характеристик стройматериалов, меняются и индивидуальные дозы облучения в помещениях, построенных на различных участках. Поэтому исследования объемной активности радона, факторов, влияющих на ее изменение, а также методов снижения воздействия радона на население являются актуальной задачей. Решение проблемы обеспечения радоновой безопасности может быть осуществлено путем комплексных исследований радиационных характеристик строительного сырья, материалов, территорий, атмосферного воздуха, а также концентраций радона, в воздухе вновь построенных и эксплуатируемых жилых и общественных зданий. Снижение коллективной дозы для населения на 20–25% означает сокращение раковых заболеваний населения Волгоградского региона на 25–30%.

Целью нашей работы является снижение радоновой опасности объектов строительного комплекса и помещений. Для выполнения поставленной цели были выдвинуты следующие задачи исследований: выявление факторов и закономерностей образования радиационного фона, обусловленного радоном в объектах строительного комплекса и помещениях; методы и средства снижения объемной активности (ОА) радона и ДПР в строительном комплексе и помещениях Волгоградской области.

Население Волгоградской области подвергается облучению двумя способами. Когда радиоактивные компоненты находятся вне организма и воздействуют на него снаружи – это внешнее облучение. Если же радиоактивные вещества оказываются в воздухе, которым дышит человек, в пище или в воде и попадают внутрь организма, то такой способ облучения является внутренним. В

сумме природные источники радиации ответственны за большую часть облучения, которому подвергается человек за счет естественной радиации. Довольно широкий разброс значений эффективной эквивалентной дозы (ЭЭД) характерен для природных источников ионизирующих излучений. Также характерна большая вариабельность для ЭЭД, обусловленная радоном и ДПР. Ионизирующее излучение радона в 20 мЗв/год и выше, приводит к тому, что более одного миллиона человек получает ЭЭД за счет этого источника [2].

Природный инертный газ радон встречается в двух основных формах: в виде радона-222 (^{222}Rn – радон), члена радиоактивного ряда, образуемого продуктами распада урана-238 (^{238}U), и в виде радона-220 (^{220}Rn – торон), члена радиоактивного ряда тория-232 (^{232}Th). В суммарную дозу облучения населения радон вносит ионизации в 20 раз больше, чем продукт распада урана – торон. Поэтому в нашей работе основное внимание уделялось ионизирующему излучению радона и ДПР. Тяжелый инертный газ ^{222}Rn поступает из почвы в атмосферу. Концентрация радона в окружающей среде достаточно низка, за счет рассеивания в воздухе. Однако когда ^{222}Rn проникает в помещение, его концентрация значительно увеличивается, поскольку он не рассеивается, как это происходит в атмосферном воздухе. Непосредственно следующие за радоном продукты распада сорбируются пылью и влагой, образуя альфа-радиоактивные аэрозольные частицы и при вдыхании их, происходит облучение легких [4, 6, 7]. Поступление радона в помещения осуществляется из нескольких источников. Стройматериалы, вода и природный газ являются внутренними источниками, а атмосферный воздух и почва под зданием – внешними. Прогнозируемые диапазоны скорости поступления и концентрации радона (вместе с ДПР) в помещениях от возможных источников показаны в табл. 1.

Таблица 1

Концентрации радона и ДПР в помещениях с прогнозируемым диапазоном скорости поступления от возможных источников

Источник поступления радона и ДПР	Скорость поступления ^{222}Rn , Бк/(м ³ ·ч)	Концентрация ^{222}Rn и ДПР, Бк/м ³
Строительный кирпич, железобетон	1,85–51,20	0,72–100,2
Строительная древесина	0,07–1,42	0,03–2,6
Грунт (почва) под зданием	0,23–200,1	0,51–500,2
Атмосферный воздух	0,34–15,13	1,16–10,2
Природный газ, питьевая вода	0,01–10,24	0,01–10,3
Всего	2,30–200	2,15–500

Как видно из таблицы 1, наиболее существенный вклад в концентрацию радона в помещениях вносят стройматериалы и почва под зданием. Нижневолжский регион относится к четвертой группе, у которой концентрация радона в наземном слое 3,48–7,53 Бк/м³. Исходя из результатов измерений, проведенных к настоящему времени, в городе Волгограде концентрация радона в атмосферном воздухе заметно выше, чем в других городах России. Объемная активность в атмосферном воздухе Волгограда достигает 8,43 Бк/м³, а для других исследованных городов не превышает 2,61 Бк/м³) [1; 3–5]. Известно, что максимальная концентрация ^{222}Rn наблюдается в наземном слое. Это связано с тем, что инертный газ радон в несколько раз тяжелее воздуха. С возрастанием высоты над уровнем земли, концентрация радона и ДПР существенно снижается (табл. 2).

Таблица 2

Концентрация ^{222}Rn и ^{220}Rn с изменением высоты над уровнем земли (для Волгоградской местности)

Высота над уровнем земли, м	Концентрация ^{222}Rn , %	Концентрация ^{220}Rn , %
0	100	100
1	96,2	94,8
5	92,6	72,3
10	86,9	51,2
25	84,8	21,4
50	74,2	5,3

100	68,7	0,5
1000	38,2	–
7000	6,9	–

Концентрация ^{222}Rn в атмосферном воздухе, в связи с влиянием различных факторов (содержание ^{238}U в породах, высота над уровнем земли, климатические и почвенные характеристики и др.) для разных территорий, имеет различные показатели. В обычно используемой питьевой воде концентрация радона в большинстве случаев чрезвычайно мала. Но некоторые источники воды содержат очень большую концентрацию радона.

Например, очень высокую концентрацию радона обнаружили в воде артезианских источников США и Финляндии, а также в системе водоснабжения Хельсинки. Максимальная удельная радиоактивность воды, которая была зарегистрирована в системах водоснабжения, составляет $100\,000\text{ Бк/м}^3$, минимальная близка к нулю. Среди всего населения Земли, по оценкам НК ДАР ООН менее 10% жителей пьют воду с концентрацией радона 100 Бк/м^3 и менее 1% потребляют воду с удельной радиоактивностью 1000 Бк/м^3 [1; 3].

Основная опасность исходит не от употребления воды, даже с высокой концентрацией радона, а от ее паров, попадающих в легкие человека вместе с вдыхаемым воздухом. Происходит это чаще всего в ванных комнатах. Проведенные в Канаде исследования показали, что в течение пяти минут, когда был включен теплый душ (при содержании ^{222}Rn в воде $5,25\text{ Бк/л}$), концентрация ^{222}Rn и ДПР в воздухе ванной комнаты быстро возрастала (от 136 Бк/м^3 до 5450 Бк/м^3). Необходимо ждать более двух часов после отключения воды в душе, прежде чем содержание ^{222}Rn достигнет исходного уровня [2; 3].

Поэтому для ограничения облучения населения, обусловленного содержанием ^{222}Rn и ДПР в воде, необходимо контролировать концентрацию ^{222}Rn во всех источниках водоснабжения. В помещениях на концентрацию радона влияет ряд факторов: время года, назначение помещений и др. В зависимости от этих факторов активность ^{222}Rn может претерпевать существенные изменения, что

приводит к различным уровням облучения населения. В табл. 3 отражены эксхалляции поступления ^{222}Rn из основных стройматериалов, которые применяются в гражданских зданиях и сооружениях в Волгоградской области.

Таблица 3

*Значения поступления ^{222}Rn из стройматериалов в помещениях
Волгоградской области*

Используемый стройматериал	Количество измерений	Эксхалляция радона, мБк/(м ² ·с)	
		средняя	вариации
Строительная глина	37	24,85	10,41–36,58
Железобетонные блоки	54	8,57	5,32–12,54
Панели облицовочные	115	7,41	3,56–10,54
Силикатный кирпич	137	5,73	3,45–8,67
Керамический кирпич	143	2,87	1,54–4,91

Из табл. 3 видно, что основные стройматериалы (за исключением строительной глины) выделяют относительно небольшое количество ^{222}Rn . Значительная концентрация ^{222}Rn наблюдается в помещениях первых этажей и подвалах одноэтажных зданиях. Показатели концентраций радона для первых этажей жилищного фонда, построенных из различных стройматериалов, приведены в табл. 4, где также представлены средние ЭЭД, обусловленные радоном.

Таблица 4

*Показатели эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА)
радона в первых этажах жилищного фонда Волгоградской области*

Используемый стройматериал здания	Количество проб	ЭРОА* радона, Бк/м ³		Средняя ЭЭД, мкЗв/год
		средняя	вариации	
Строительная глина	25	98,7	53,7–218,6	6032,8
Железобетонные блоки	181	52,6	15,3–112,4	3220,9
Панели облицовочные	580	26,9	9,2–149,5	1634,4
Силикатный кирпич	475	44,8	6,4–157,8	2726,8
Керамический кирпич	297	32,7	3,8–106,7	1988,7
Строительная древесина	123	34,6	11,4–126,8	2128,4

* Коэффициент перехода от ОА радона к ЭРОА принят равным 0,5.

Как видно из табл. 4 для помещений, построенных из однотипных стройматериалов характерен большой диапазон вариаций значений ЭРОА радона. Это связано с тем, что поступление радона в помещения и его удаление существенно отличается для каждого конкретного здания. Исследования показали, что концентрация радона в помещениях существенно снижается начиная со 2-го этажа, и не изменяется в помещениях верхних этажей. То есть, начиная со второго этажа, в суммарную ОА радона полностью исключается дополнительный вклад почвы под зданием (из-за препятствия бетонных перекрытий). В основном концентрация радона в помещениях Волгоградской области не превышает допустимых значений. Более чем в 85% помещений детских и учебных учреждений ЭРОА радона не превышает 58 Бк/м³ и менее чем для 5% превышает 120 Бк/м³, что заметно ниже, чем для жилых зданий. Это связано с тем, что все исследуемые детские учреждения располагаются в многоэтажных зданиях и основным источником поступления радона в помещения являются стройматериалы.

Установлено, что ОА радона и ДПР в помещениях может изменяться в десятки раз в зависимости от метеоусловий, частоты проветривания, вентиляции помещений и т. д. Нами были проведены исследования изменений концентраций радона в течение года в помещениях [2; 3; 5]. ОА радона для этажей выше первого существенно не изменяется, поэтому были исследованы помещения первых и средних (третьих) этажей. Наши исследования показали, что для всех зданий ОА радона достигает максимальных значений в зимний период времени. Следовательно, герметизация помещений с целью утепления приводит к наибольшим концентрациям радона. ОА радона убывает с марта по июнь, в летний период времени устанавливается на определенном уровне, а затем возрастает с сентября по январь. Для первых этажей наблюдается небольшой подъем ОА радона в летние месяцы, это связано с тем, что с повышением температур заметно возрастает эксхалация радона из почв.

Климат Волгоградской области характеризуется значительной континентальностью. Поэтому в зимнее время года большинство помещений практически

полностью герметизированы, проветривание отсутствует. В летний период происходит постоянное поступление атмосферного воздуха в помещения, поэтому концентрация радона в них достаточно низка. Таким образом, концентрация радона в течение года претерпевает существенные изменения. Наиболее значимым фактором, влияющим на эти изменения, является герметизация помещений с целью их утепления. Помимо строительных материалов, почвы под зданием и атмосферного воздуха существуют также и другие источники поступления радона в помещения: вода и природный газ. Вероятно, данные источники оказывают наибольшее значение на концентрацию радона в ванных комнатах и кухнях. Нами проведены исследования ОА радона для помещений первых этажей различного назначения (см. табл. 5). В таблице приведена также возможная средняя эффективная эквивалентная доза за счет ^{222}Rn , рассчитанная для этих помещений. Исследования проводились только для первых этажей, т.к. именно для этих этажей наблюдаются максимальные значения ЭРОА радона.

Таблица 5

Показатели ЭРОА радона в жилых помещениях различного назначения

Тип помещений	Время нахождения в помещении, ч/год	ЭРОА радона, Бк/м ³		ЭЭД, мкЗв/год
		средняя	вариации	
Спальная комната	4352	38,43	3,76–98,43	1674
Помещение кухни	1053	69,25	18,46–215,8	746
Ванная комната	352	95,89	24,97–228,96	427

Как видно из табл. 5 концентрация радона для кухонных и ванных помещений заметно выше, чем для спальных комнат. Однако для Волгоградской области это превышение не столь значительно (например в Финляндии концентрация радона в ванных комнатах примерно в 3 раза выше, чем на кухнях и в 40 раз выше, чем в жилых комнатах), т.к. содержание ^{222}Rn в источниках водоснабжения области не превышает 10 Бк/м³ [2; 3; 7].

Таким образом, на концентрацию радона в помещениях существенное значение оказывают следующие факторы: строительные материалы из которых они построены, назначение помещения, а также время года. В зависимости от этих факторов в помещениях наблюдаются значительные изменения ЭРОА радона, что приводит к различным уровням облучения населения. Впервые проведены широкомасштабные исследования радиационных характеристик строительного сырья, материалов и помещений. Установлены закономерности распределения радона на объектах строительного комплекса и окружающей среды в зависимости от влияния различных факторов (времени года, применяемых материалов и т. д.). Рассчитаны усредненные годовые эффективные эквивалентные дозы облучения населения Волгоградской области, обусловленные радоном и ДПР. При участии автора создан первый (среди ВУЗов строительного профиля) центр радиационного контроля в стройиндустрии. Разработан нормативный материал для использования в стройиндустрии с целью ограничения облучения населения в регионе, а также методический материал для подготовки специалистов в области радиационных исследований в строительном комплексе.

Список литературы

1. Kamaev V.A. Natural Radionuclides as a Source of Background Irradiation Affecting People Inside Buildings / V.A. Kamaev, I.P. Mikhnev, N.A. Salnikova // Procedia Engineering: 2nd International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2016. – Vol. 150. – 2016. – P. 1663–1672
2. Михнев И.П. Фоновое облучение населения и методы защиты от природных радионуклидов в помещении: Дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2000. – 267 с.
3. Mikhnev I.P. Research of Activity of Natural Radionuclides in Construction Raw Materials of the Volgograd Region / I.P. Mikhnev, N.A. Salnikova, M.B. Lempert // Solid State Phenomena. – Vol. 265. – 2017. – P. 27–32.
4. Камаев В.А. Влияние гамма-фона помещений Волгоградской области на индуцирование рака / В.А. Камаев, И.П. Михнев, Н.А. Сальникова // Известия

Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – №14 (178). – С. 60–63.

5. Сидякин П.А. Материалы для снижения гамма-фона и концентрации радона в помещениях / П.А. Сидякин, О.П. Сидельникова, Ю.Д. Козлов, И.П. Михнев, В.Т. Малый. – М.: Строительные материалы, 1998. – №8. – С. 26–27.

6. Михнев И.П. Информационная безопасность спектрометрических систем при определении радиационных характеристик в помещениях Волгоградской области / И.П. Михнев, Н.А. Сальникова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – №13 (177). – С. 109–113.

7. Сидельникова О.П. Защитные материалы для снижения мощности дозы в помещениях / О.П. Сидельникова, Ю.Д. Козлов, П.А. Сидякин, И.П. Михнев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – Новосибирск: ФГБОУ ВО Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 1999. – №2–3. – С. 57–59.

References

1. Kamaev V.A., Mikhnev I.P., Salnikova N.A. "Natural Radionuclides as a Source of Background Irradiation Affecting People Inside Buildings", *Procedia Engineering*, "2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016", Vol. 150. (2016). pp. 1663–1672.

2. Mikhnev I.P. Background Exposure of the Population and the Methods of Protection from Natural Radionuclides in the Room, PhD Thesis. *tehn. Sciences*, Volgograd. 267 p. (2000).

3. Mikhnev I.P., Salnikova N.A., Lempert M.B. "Research of Activity of Natural Radionuclides in Construction Raw Materials of the Volgograd Region", *Solid State Phenomena*, Vol. 265, (2017), pp. 27–32.

4. Kamaev V.A., Mikhnev I.P., Salnikova N.A., Effect of gamma background at the premises of the Volgograd area of cancer induction, *News of Volgograd State Technical University*, No.14 (178), pp. 60–63 (2015).

5. Sidyakin P.A., Sidelnikova O.P., Kozlov Yu.D., Mikhnev I.P., Malyth V.T., "Materials for reducing the gamma-ray background and the concentration of radon indoors", Moscow, Construction Materials, No.8, pp. 26–27 (1998).

6. Mikhnev I.P., Salnikova N.A. Information security spectrometric systems for determining the radiation characteristics of the premises in the Volgograd region, News of Volgograd State Technical University, No.13 (177), pp. 109–113 (2015).

7. Sidelnikova O.P., Kozlov Yu.D., Sidyakin P.A., Mikhnev I.P. "Protective materials for reducing the dose rate in rooms", Izvestia institutions of higher education. Construction, No. 2–3, pp. 57–59 (1999).

Михнев Илья Павлович – канд. техн. наук, доцент, Заслуженный работник науки и образования, доцент кафедры «Информационных систем и математического моделирования» Волгоградского института управления (филиала) ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ», Россия, Волгоград.

Mikhnev Ilya Pavlovich – Ph.D in engineering sciences, associate professor, Honored Researcher of Science and Education, associate professor of “Information Systems and Mathematical Modeling” Department at Volgograd Institute of Management (branch) of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Russia, Volgograd.
