

# Наномодифицированный магнезиально-шунгитовый защитный бетон

Заместитель генерального директора А.С. Рыжов\*;  
к.х.н., научный консультант Л.Н. Поцелуева,  
ООО «АЛЬФАПОЛ»

## 1. Вяжущие материалы и заполнители для производства защитного бетона

Многообразие условий эксплуатации бетона в промышленном строительстве определяет широкий диапазон свойств и предъявляемых к ним требований, в том числе экологического и защитного характера. Основными показателями, определяющими защитные свойства бетона, являются такие физико-химические характеристики, как плотность бетона и наличие химически связанной «гидратной» воды.

Для защиты от гамма-излучения применяют бетон на тяжелых природных и искусственных заполнителях, содержащих элементы с большим атомным номером. Это баритовые, железнорудные, чугунные, феррофосфорные и другие заполнители. Для ослабления нейтронного излучения, сопутствующего гамма-излучению, бетон должен содержать хороший поглотитель нейтронов, например, гидратированную химически связанную воду.

Для изготовления защитного бетона могут использоваться любые вяжущие материалы. Наибольшее распространение в качестве вяжущего получил портландцемент; рекомендации даются в советских [1, 2], американских (Дейвис, Орвил, Роквелл и др.), немецких (Яэгер, Айзенлоор и др.) публикациях.

Однако наиболее перспективным направлением является, на наш взгляд, использование в бетоне **магнезиального цемента**, в составе которого содержится большее (в два раза) по сравнению с портландцементом количество химически связанной воды. Химическая формула магнезиального цемента –  $3(5) \text{MgO} \times \text{MgCl}_2 \times 11(13) \text{H}_2\text{O}$  – и данные, приведенные в табл.1 [1] наглядно подтверждают это утверждение.

**Таблица 1. Количество воды, химически связанной цементом**

Цемент	Количество связанной воды, % массы цемента в течение	
	1 мес	12 мес
Портландцемент	15	20
Шлакопортландцемент	15	20
Гипсоглиноземистый	28	32
Глиноземистый	25	30
Магнезиальный	35	40

В литературе [1] имеются указания на широкое применение магнезиального цемента для защиты ядерных установок (бетон «Брук Хавен», США).

Известно также, что магнезиальные горные породы и попутные продукты горнорудной промышленности имеют пониженную радиационную проницаемость при воздействии гамма- и нейтронного излучения. Массовые коэффициенты ослабления гамма-излучения уменьшаются на 1,5-3,0%; толщина слоя половинного ослабления снижается на 15-30% по сравнению с глиной, гранитом, базальтом. Бетон на заполнителях из магнезиального сырья отличается повышенной плотностью ( $2900 - 3200 \text{ кг/м}^3$ ) и имеет толщину слоя половинного ослабления гамма-излучения 6.3-6.4 см, что на 14-18% ниже обычного бетона, и уступает лишь бетону с добавкой хрома [3].

В СССР и России не существовало до недавнего времени теоретической основы и надежной технологии изготовления магнезиального бетона. Теоретическая база разработана коллективом авторов под руководством академика В.В. Зуева, опубликована в 2006 г. в монографии «Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов, включая магнезиальные цементы» [7].

## 2. Нанобетон. Наночастицы. Наномодификаторы. Фуллерены

Как уже отмечалось, свойства бетона как защитного материала определяются в значительной степени его структурой на микроскопическом уровне и зависят от характера и величины деформаций, сопротивления разрушению материала, капиллярной проницаемости и явлений тепломассообмена [4]. Нанобетоном можно назвать такой материал, который содержит в своём составе наноструктуры.

Вещество может приобрести совершенно новые свойства, если взять очень маленькую частицу этого вещества. Частицы размерами от 1 до 100 нанометров обычно называют наночастицами. Наночастицы сосуществуют с другими частицами, большими по размерам, управляя большинством процессов на разных уровнях.

Рыжов А.С., Поцелуева Л.Н. Наномодифицированный магнезиально-шунгитовый защитный бетон

По мнению ведущих ученых, мы постепенно входим в нанопространство, связанное с применением нанотехнологий, в котором действуют другие законы, отличные от законов квантово-физического мира с его молекулами, атомами и электронами. Нанотехнологии качественно отличаются от традиционных, поскольку привычные, макроскопические обращения с материей часто неприменимы, а микроскопические явления, пренебрежимо слабые в привычных масштабах, становятся намного значительнее свойств и взаимодействий отдельных атомов и молекул (например, силы Ван-дер-Ваальса, квантовые эффекты).

Можно ли приложить эти новые представления о материи к области материаловедения, в частности, к строительным материалам? Очевидно, ответ положительный.

На сегодняшний день в этом направлении имеется значительное продвижение. Как показывает практика, постепенное уменьшение размера частиц в материале (например, в цементе) может значительно улучшить его характеристики. У обычного портландцемента удельная поверхность частиц составляет приблизительно  $2500 \text{ см}^2/\text{г}$ . Такой цемент вступает в химическую реакцию с водой лишь на четверть своего объема. Чтобы устранить этот недостаток, предложено измельчать материал до возможно малых размеров непосредственно перед использованием. Однако дополнительное измельчение цемента до микрочастиц является весьма дорогостоящим и экономически невыгодным предприятием.

Известно [4, 5], что в области размеров частиц от 50 до 100 мкм начинается изменение признаков коллоида в дисперсной системе (цемент–наполнитель–заполнитель) в водной среде: прекращение броуновского движения и резкое снижение величины свободной поверхностной энергии, что связано с установлением фазового равновесия внутри системы. Это соответствующим образом влияет на формирование структуры цементного камня.

Другое направление – введение в цементные смеси наномодификаторов – более перспективно и используется в заметных объемах. Наиболее известный и широко используемый наномодификатор – это микрокремнезем, который является побочным продуктом при производстве ферросилиция и металлического кремния с размером коллоидных частиц  $10^{-5} - 10^{-3} \text{ м}$  [4]. Экспериментально установлено, что действие микрокремнезема весьма эффективно для улучшения свойств защитного бетона, используемого для изготовления контейнеров при захоронении радиоактивных отходов и отработанного ядерного топлива [6]. Установлено, что наночастицы в виде нанотрубок имеются в таком природном минерале, как **хризолитовый асбест**. Возможно, наличием нанотрубок можно объяснить упрочняющее действие, какое оказывает асбест на цементную матрицу (изделия – асбошифер, асбестоцементные трубы т.д.).

Содержит нанотрубки и минерал серпентинит. На основе этого минерала, измельченного до наноразмерного состояния, изготавливают так называемые ремонтно-восстановительные составы (для восстановления изношенных металлических трущихся поверхностей).

Особое место по использованию для производства нанобетонов занимают фуллероиды: одно- и многослойные нанотрубки. Это фуллереноподобные вещества, значительно более дешевые, чем фуллерены, и применяются они уже достаточно широко.

**Фуллерен** имеет каркасную структуру, очень напоминающую футбольный мяч, состоящий из «заплаток» пяти- и шестиугольной формы. Если представить, что в вершинах этого многогранника находятся атомы углерода, то мы получим самый стабильный фуллерен  $\text{C}_{60}$ . В молекуле  $\text{C}_{60}$ , которая является наиболее известным, а также наиболее симметричным представителем семейства фуллеренов, число шестиугольников равно 20. При этом каждый пятиугольник граничит только с шестиугольниками, а каждый шестиугольник имеет три общие стороны с шестиугольниками.

Фуллерены являются веществами, хотя и высокоэффективными как упрочнители цементных материалов, однако очень дорогими и поэтому в широкой практике не используются.



Рисунок 1. Структура фуллерена

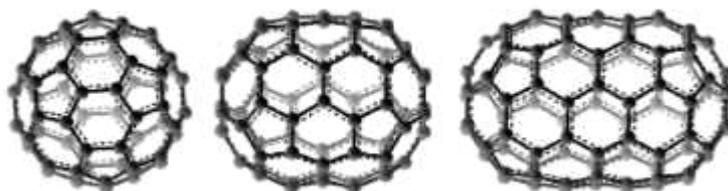


Рисунок 2. Представители фуллеренов:  $\text{C}_{60}$ ,  $\text{C}_{70}$ ,  $\text{C}_{90}$

Нанотрубка – это молекула из более чем миллиона атомов углерода, представляющая собой трубку с диаметром около нанометра и длиной несколько десятков микрон. В стенках трубки атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников.

Рыжов А.С., Поцелуева Л.Н. Наномодифицированный магниезально-шунгитовый защитный бетон

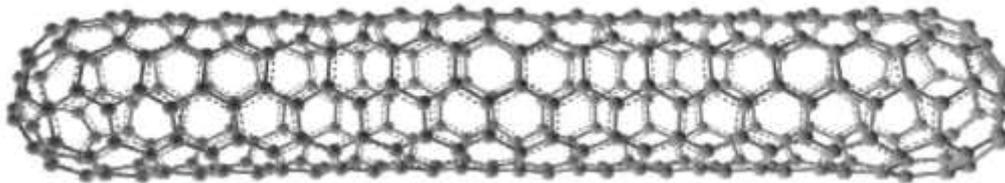


Рисунок 3. Структура нанотрубки

### 3. Вода – природный наномодификатор

Самым уникальным, поразительным примером наноструктур является вода. Почти вся биосфера нашей планеты (да и наш организм) – это 65% воды.

Главенствующая роль воды совершенно очевидна. По мнению ведущих ученых (В. Казначеев. Энергия и информация), «вода важнейшее связующее звено, которое реализует информационно-энергетическую передачу космоса на живое вещество». Что и как именно воспринимает из космоса вода, когда она находится в клетке, в нашей крови или в наших нейронах? Если подходить к изучению воды с точки зрения кластеров (наноструктур), то можно объяснить все ее свойства (Мартин Чаплин. Кластеры – структурные единицы: «Не существует другой гипотезы, которая позволяла бы понять природу воды»).

Когда начали изучать возможные структуры в воде, то оказалось, что структуры кремниевых пород и возможные структуры воды подобны друг другу, т. е. в каком-то смысле оксид кремния – та же вода, только невероятно медленно меняющая свои структурные свойства (В. Воейков. МГУ. Горящая вода).

Вода как первичная наноструктура является матричной основой в дисперсных цементных системах, при затвердевании которых образуется камнеподобный материал, зачастую не уступающий по своим свойствам природным минералам.

Таким образом, микроскопический уровень материалов включает в качестве матричной основы связующего структурированную (псевдотвердую) воду, имеющую высокую энергию связи. К примеру, энергия испарения воды в первом адсорбционном слое (монослое) составляет 8000 кал/моль [3]. Большинство исследований в области твердения вяжущих веществ посвящено механизму гидратации и изучению продуктов гидратации. Однако, несмотря на проводимые в этой области серьезные исследования (работы В.В. Дерягина, Л.И. Хейфица, И.Н. Ахвердова, Е.И. Шмицько и др.), единой и общепринятой теории твердения цемента до сих пор не разработано в силу чрезвычайной сложности этого многофакторного процесса.

Таким образом, можно утверждать, что наночастицы (НЧ) и наноструктуры (НС) присутствуют на Земле, в природе, в воде, в минералах и, в частности, в шунгите, изначально.

### 4. Применение шунгита в защитном радиационнотойком бетоне на магнезите и портландцементе

Быстро развивающимся направлением строительной нанотехнологии в России является производство строительных материалов с использованием шунгита.

Шунгитовая порода группы III представляет собой природный композит, состоящей из 26-30% углерода и 56-60% силикатных частиц. Характерной особенностью шунгитового углерода является также наличие глобул, типа фуллероидов, содержащих в своем составе фуллереноподобные наночастицы (одно- и многослойные нанотрубки, нанобаррели, нанолуковицы, наноконусы и т.п.) [8].

Матрица аморфного углерода шунгитовой породы Загогинского месторождения включает в себя нанокристаллические частицы оксида кремния (см. ниже микрофотографию шлифа кускового материала шунгита [7]).

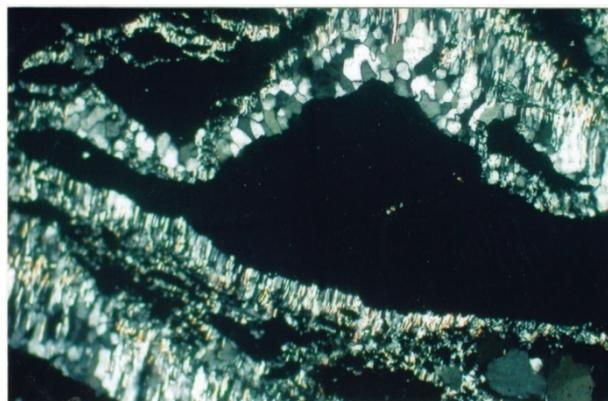


Рисунок 4. Прожилки параллельно-шестоватых агрегатов кварца в основной массе (черное) шунгита. Проходящий свет, николи скрещены, увеличение 300х

Известно, что при старении оксид кремния распадается на кластеры из Si и SiO<sub>2</sub>, содержащие до 10<sup>20</sup> см<sup>-3</sup> парамагнитных центров. Известно также, что электронный парамагнитный резонанс (эффект Зеемана) – резонансное поглощение радиоволн – обусловлен квантовыми переходами между магнитными подуровнями парамагнитных атомов и ионов. Спектры ЭПР наблюдаются главным образом в диапазонах сверхвысоких Рыжов А.С., Поцелуева Л.Н. Наномодифицированный магнезиально-шунгитовый защитный бетон

частот. Наличие парамагнитных центров, по-видимому, объясняет эффект поглощения шунгитом радиоволн в высокочастотном диапазоне.

Шунгитовые порошки разной тонины помола весьма перспективны в качестве наполнителя в резине, полимерах, мастиках, замазках, красках, а также в качестве наполнителя при изготовлении защитного бетона. В качестве наполнителя преимущественно используются порошки шунгитовой породы группы III, в силу своей уникальности по структуре (см. выше), а также технологичности при измельчении [8]. В качестве примера можно привести производство защитного модифицированного бетона – консерванта для захоронения радиоактивных отходов с гарантированной надежностью, сроком до 300 лет.

В соответствии с существующей на сегодняшний день научной концепцией, структура модифицированного защитного бетона–консерванта должна быть газопроницаемой (для отвода продуктов радиационного разложения воды) и водонепроницаемой, препятствующей миграционно-диффузионным процессам проникновения радионуклидов в окружающую среду после их захоронения. Состав такого бетона известен [6]. Портландцемент М500 – 37%, высокодисперсный шунгит – 13%, шунгитовый песок – 32%, высокодисперсный порошок карбида бора 2%, модифицирующие добавки и вода – остальное. Однако, как отмечает автор, при введении тонкодисперсных порошков в цементные смеси возникает ряд проблем, таких, как образование пыли, сложность обеспечения на обычном смесительном оборудовании равномерного распределения микрочастиц в цементной смеси, особенно в малых количествах.

Кроме того, как выяснил автор, адгезия между частицами шунгита и цементным камнем практически отсутствует, и поэтому эти частицы можно рассматривать как условные поры в цементном монолите. Кроме того, при перемешивании дисперсий шунгита с цементом очень трудно получить однородную (гомогенную) смесь. Механизм перемешивания подобен механизму перемешивания цемента с машинным маслом [6]. Напротив, магнезиальный цемент, как это будет показано ниже, имеет высокую адгезию к шунгиту. Промышленность уже выпускает несколько видов бетонных и растворных строительных смесей на магнезиальном вяжущем с шунгитом. Причем соотношение основных компонентов вяжущее/шунгит существенно отличается от составов на портландцементе: магнезит – до 10%, шунгит – до 85% [9].

### **5. Краткие сведения о защитных свойствах магнезиально-шунгитовых строительных смесей. Сравнительные характеристики с бетонами на портландцементе**

При затворении каустического магнезита ( $MgO$ ) концентрированным раствором бишофита ( $MgCl_2$ ) в начале гидратации кристаллизуется неустойчивое метастабильное соединение  $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ , которое постепенно переходит в конечную устойчивую фазу  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$  с большим количеством химически связанной воды. Высокая прочность этого соединения обусловлена его текстурой, отличающейся взаимным прорастанием спиралевидных трубчатых нитевидных агрегатов [10], наблюдаемых в сканирующем электронном микроскопе (Установка Geolco JSM, США университет штата Иллинойс).

К достоинствам магнезиального цемента также следует отнести высокий темп нарастания прочности. Обычно в возрасте одних суток прочность бетонов и растворов достигает 30-50%, а в возрасте 7 суток 60-90% от максимального значения.

В отличие от магнезиальных составов, бетон и растворы на основе портландцемента, как известно, имеют замедленное твердение, неоднородный состав и конгломератное строение. Образующиеся в процессе гидратации портландцемента кристаллические и коллоидные новообразования с течением времени высыхают и уплотняются, что сопровождается усадкой цементного камня [11].

В отношении магнезиального цемента была проделана успешная, на наш взгляд, исследовательская работа по объяснению и количественному описанию его свойств с точки зрения современных энергетических подходов [7]. В этой работе проведен сравнительный анализ магнезиального и кальциево-силикатного цемента по рассчитанным для них энергетическим характеристикам и свойствам. В частности, особо следует подчеркнуть явное преимущество магнезиального цемента (по сравнению с портландцементом) по удельным массовым энергетическим параметрам  $E_m$  и  $W_m$ , что сближает его с весьма стабильными минералами [12] (таблица 2), которые являются наиболее устойчивыми природными химическими соединениями в составе земной коры, а также верхней мантии.

Как следствие, магнезиальный цемент характеризуется высокими параметрами максимальной частоты колебания атомов  $\nu_m$  (таблица 3), что, по-видимому, является ключом к объяснению повышенных защитных (экранирующих) свойств материалов на основе магнезиального цемента в смеси с шунгитом от гамма-излучений [7] и воздействия электромагнитных излучений радиочастотного диапазона.

**Таблица 2. Сравнительная характеристика свойств магнезиального и кальциево-силикатного цемента**

	Магнезиальный цемент	Кальциево-силикатный
--	----------------------	----------------------

Рыжов А.С., Поцелуева Л.Н. Наномодифицированный магнезиально-шунгитовый защитный бетон

Удельные энергии атомизации	$E_m, \text{кДж/г}$ 36,27	$E_m, \text{кДж/г}$ 25,69
Удельные энергии сцепления остовов и электридов	$W_m, \text{МДж/г}$ 0,81	$W_m, \text{МДж/г}$ 0,58

**Таблица 3. Энергетические и частотные характеристики графита, шунгита, магнезиального цемента и портландита**

Вещество	$E_a, \text{кДж/моль}$	$E_m, \text{кДж/г}$	$\rho, \text{г/см}^3$	$E_v, \text{кДж/см}^3$	$\nu_m, \text{ТГц}$
Графит	718,6	59,8	2,27	136	23,2
Шунгит	700	58,3	1,95	114	<b>23,7</b>
Магнезиальный цемент	15021	36,3	1,86	67,5	17,6
Гиллебрандит	29791	25,7	2,69	69	14

Примечание. Для графита приведены данные согласно (Мамыров, 1991), для остальных соединений – рассчитанные параметры.

Из данных таблицы 3 однозначно следует вывод, что по параметрам удельной массовой энергии атомизации ( $E_m$ ) и частотным характеристикам ( $\nu_m$ ) магнезиальный цемент превосходит традиционный цемент типа портландита (гиллебрандит). Этот вывод подтверждают исследования ученых, выполненные в аккредитованных лабораториях. Изготовленные с применением магнезиального цемента с шунгитовым и баритовым наполнителями защитные изолирующие панели (экраны, штукатурные и напольные смеси) способны обеспечивать многократное ослабление воздействия гамма-излучения [13]. Причем магнезиально-шунгитовые и магнезиально-баритовые составы имеют примерно одинаковый коэффициент ослабления гамма-излучения.

Возможное объяснение этому эффекту следует искать, как уже указывалось, в высоких параметрах  $E_m$  и  $\nu_m$  шунгита и магнезиального цемента.

Если принять защитные экраны состоящими на 15% из магнезиального цемента и на 85% из шунгита, то средние параметры такого материала будут следующими:  $E_m=55 \text{ кДж/г}$ ,  $\nu_m = 22,7 \text{ ТГц}$ . Для сравнения, по приведенной выше рецептуре радиационно-защитного бетона на портландцементе (37%/45% цемент/шунгит), можно вычислить параметры  $E_m=35,7 \text{ кДж/г}$ ,  $\nu_m=15,9 \text{ ТГц}$ , соответственно. Сравнение не в пользу портландцемента. Обращает на себя внимание (таблица 3) близость (совместимость) не только частотных характеристик, но также плотностей шунгита и магнезиального цемента, что является благоприятным фактором при изготовлении защитных материалов из смесей этих веществ.

Согласно данным Мамырова Э.М. [14], наиболее высокие значения  $\nu_m$  характерны для самых высокоэнергетических неорганических веществ (минералов): алмаза ( $\nu_m=26,9 \text{ ТГц}$ ) и графита ( $\nu_m=23,16 \text{ ТГц}$ ). Шунгит как весьма специфическая природная форма углерода представляет собой хаотическую беспорядочную сетку гибридных ковалентных  $\text{sp}^3$ -связей атомов углерода. Поэтому шунгит является перспективным природным материалом для выполнения защитных (экранирующих от различного рода излучений) функций, например, электромагнитных полей [15].

Таким образом, превосходство защитных свойств магнезиально-шунгитовых материалов над портландцементным бетоном с шунгитовым наполнителем можно считать теоретически обоснованным с точки зрения современных энергетических подходов.

Кроме того, не следует забывать, что тонкомолотый шунгит включает в себя нанокристаллические частицы оксида кремния в исходной матрице аморфного углерода, что, по-видимому, отвечает за резонансное поглощение радиоволн в высокочастотном диапазоне.

## **6. Применение магнезиально-шунгитовых строительных смесей для нейтрализации радона и гамма-излучения**

Современные магнезиально-шунгитовые строительные материалы в виде сухих строительных смесей (штукатурные составы и напольные покрытия) обладают уникальной комбинацией свойств и оптимальными эксплуатационными характеристиками, что позволяет использовать их для решения следующих задач по обеспечению радиационной безопасности:

- снижения уровня облучения людей радоном (продуктами распада) и другими природными радионуклидами;
- защиты персонала от воздействия всех видов источников ионизирующих излучений;
- при изготовлении контейнеров для радиоактивных отходов, а также для герметизации газовыделяющих радиоактивных веществ;
- омоноличивания твердых радиоактивных отходов;
- отверждения жидких радиоактивных отходов.

### 6.1. Радон. Защита от природных источников излучения

Известно, что природные источники ионизирующего излучения создают более 2/3 суммарной дозы, получаемой населением. При этом наибольшую долю в облучение населения вносит радон (Rn), а точнее, продукты его распада.

Разработан магнезиально-шунгитовый материал, предназначенный для изготовления стяжек пола с целью уменьшения поступления радона в воздух помещений. Причем количество шунгита варьируется в пределах всего 1-2%. Материалы на основе магнезита обладают высокой износостойчивостью, прочность на сжатие достигает 60-70 МПа. Стяжки пола могут быть выполнены в жилых (подвальных), производственных помещениях, в местах с превышением уровня выделения радона из почвы. Санкт-Петербургским институтом радиационной гигиены им. Рамазаева проведена серия экспериментальных исследований радонозащитных характеристик ряда рецептур.

Характеристики радонозащитного материала представлены в таблице 4, в которой для сравнения приведены данные литературы по числовым значениям коэффициента диффузии и длины диффузии радона в различных средах. Для сравнения: по значению коэффициента диффузии магнезиально-шунгитовый радонозащитный бетон «КР» превосходит тяжелый бетон примерно в 100 раз, а по длине диффузии – в десять.

**Таблица 4. Сравнительные радонозащитные характеристики различных материалов**

Материал, среда (слой 1см)	Коэффициент диффузии радона D, (см <sup>2</sup> /сек)	Длина диффузии радона l, (см)
Воздух	$1,0 \times 10^{-1}$	218,0
Вода	$1,0 \times 10^{-5}$	2,2
Бетоны тяжелые	$3,5 \times 10^{-4}$	13,0
Бетоны легкие	$1,4 \times 10^{-3}$	26,0
Кирпич	$4,7 \times 10^{-4}$	15,0
Магнезиально-шунгитовый радонозащитный бетон «КР»	$(5,0 \pm 1,1) \times 10^{-6}$	1,54 (1,4 ÷ 2,9)

### 6.2. Защита от техногенных ионизирующих излучений

Экспериментальная оценка кратности ослабления гамма-излучения проводилась для диапазона энергий 0,122...0,0595 МэВ, соответствующего рентгеновскому излучению рентгеновских аппаратов с анодным напряжением в диапазоне 122...59,5 кВ. Результаты экспериментальной оценки кратности ослабления гамма-излучения образцами № 1-3 толщиной 10мм представлены в таблицах 5, 6 [14].

### 6.3. Сравнительная оценка кратности ослабления гамма-излучения магнезиально-шунгитовой и магнезиально-баритовой штукатуркой

**Таблица 5. Результаты экспериментальной оценки кратности ослабления гамма-излучения. Радионуклид америций -241 – энергия 0,0595 МэВ**

№п/п	Образец штукатурки	МЭД, мкГр/ч	МЭД, мкГр/ч	Кратность ослабления
1	Баритовая (на КБ-5)	0,11	0,01	11,0
2	Баритовая (на КБ-3)	0,11	0,01	11,0
3	ШТ-1 (на шунгите)	0,11	0,01	11,0

Все составы имеют равные процентные соотношения вяжущее/заполнитель (10%/85%).

Кратность ослабления гамма-излучения для энергии 0,0595 МэВ (что соответствует рентгеновскому излучению рентгеновских аппаратов с анодным напряжением 59,5кВ) для образцов штукатурки № 1-3 практически не отличается.

**Таблица 6. Результаты экспериментальной оценки кратности ослабления гамма-излучения. Радионуклид кобальт-57- энергия 0,122 МЭВ**

№ п/п	Образец штукатурки	МЭД, мкГр/ч	МЭД, мкГр/ч	Кратность ослабления
1	Баритовая (на КБ-5)	0,12	0,03	4,0
2	Баритовая (на КБ-3)	0,12	0,04	3,0
3	ШТ-1 (на шунгите)	0,12	0,06	2,0

Кратность ослабления гамма-излучения образцами штукатурки 1,2 значительно не отличается для энергии 0,122 МЭВ, что соответствует рентгеновскому излучению рентгеновских аппаратов с анодным напряжением 122кВ. Учитывая погрешность методики измерения мощности (30%) при оценке кратности ослабления для образцов штукатурки на концентратах КБ-5 и КБ-3 можно принять в качестве среднего значения величины кратности ослабления-  $4,0 \pm 30,0$  %. Несколько ниже кратность ослабления для штукатурки ШТ-1 на шунгитовом заполнителе.

Учитывая полученные результаты измерений, следует применять разные составы штукатурки для разных источников излучения.

Разработаны Рекомендации по защите от излучения рентгеновских аппаратов со стандартизированными значениями анодного напряжения от 90 до 125 кЭв [16]. Рекомендации используются для проектирования экологически безопасных помещений в соответствии с требованиями НРБ-99.

### Литература

1. Дубровский В. Б., Аблевич З. Строительные материалы и конструкции защиты от ионизирующих излучений. Совместное издание СССР-ПНР М., 1983.
2. Прошин А.П., Демьянова В.С., Калашников Д.В. Особо тяжелый высокопрочный бетон для защиты от радиации с использованием вторичных ресурсов. Пенза, 2002.
3. Максимов С.В., Комохов П.Г. и др. Материалы для конструирования защитных покрытий. Учебное пособие. М., 2000.
4. Комохов П.Г. Структура и гиперзащитные свойства бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003, №5.
5. Фукс Г.И. Основные направления развития современной коллоидной химии // Успехи коллоидной химии. Ташкент, 1987. С. 10-27.
6. Комохов П.Г. Защитный бетон от радиации // Цемент. Бетон. Сухие строительные смеси. Международное аналитическое обозрение, № 1(02). Спб., 2008.
7. Зуев В.В., Поцелуева Л.Н., Гончаров Ю.Д. Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов (включая магнезиальные цементы). СПб, 2006.
8. Калинин Ю.К., Калинин А.И., Скоробогатов Г.А. Шунгиты Карелии. СПб, 2008.
9. Поцелуева Л.Н., Гончаров Ю.Д. Сухая строительная смесь. Патент на изобретение №2233255, 2003.
10. Маткович Б., Рогич В. Модифицированный магнезиальный цемент // Труды VI международного конгресса по химии цемента. М., 1974.
11. Кузнецова Т.В., Сычев М.М. и др. Специальные цементы. СПб, 1997.
12. Зуев В.В., Денисов Г.А., Мочалов Н.А. и др. Энергоплотность как критерий оценки свойств минеральных и других кристаллических веществ. М., 2000.
13. Протокол испытаний по оценке кратности ослабления гамма-излучения образцами сухих строительных смесей ТМ АЛЬФАПОЛ. ФГУН «НТЦ АТЛАС». СПб., 2008.
14. Мамыров Э.М. Удельная энергия атомизации и физические свойства минералов и горных пород. Бишкек, 1991.
15. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследования по оценке эффективности экранирования электромагнитных полей магнезиально-шунгитовым материалом АЛЬФАПОЛ ШТ-1». МО РФ. в/ч 70170. СПб., 2005.
16. СП 2.6.1.758-99 Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99).

*Александр Сергеевич Рыжов, Санкт-Петербург*

*Тел. раб.: +7(812)373-92-92; эл. почта: asr@alfapol.ru*