

Abstract

There is an analysis of the formation of condense phases on the surface of silicon rod-substrates. The formation of condensation layers in the scheme “molten silicon - silicon base – steam-gas phase” in a vacuum undergoes series of stages, subject to certain regularities: evaporation, mass transfer and condensation.

The final stage is the condensation of the silicon atoms on the side surface of the silicon rod. Physical laws of condensation include the regularities of such processes as the adsorption, the crystallographic transformation on the surface of the growing condensate, the regularities of heat transfer associated with the release of latent heat of condensation.

From a thermodynamic point of view, the most probable is the formation of a condensate consisting of amorphous silicon, as this process is accompanied by the lowest increase of Gibbs energy of the system. This takes the widely used assumption that Gibbs energies of the supercooled liquid phase and the amorphous phase are close.

To compare the thermodynamic stability of the layers with different structure corresponding to the stable and metastable modifications of silicon, we use Gibbs energy of competing phases.

Keywords: silicon, condensation, steam-gas phase, crystalline phase, thermodynamic potential, evaporation, heat transfer, mass transfer

Розглянуто результати порівняльних експериментальних досліджень впливу різних радіаційно-захисних (РЗ) наповнювачів композиційних матеріалів на основі фосфогіпсового в'язучого на їх РЗ властивості. Встановлені закономірності впливу параметрів рентгенозахисних конструкцій на рівень радіаційного захисту персоналу з урахуванням властивостей композиційних матеріалів на основі фосфогіпсу та обґрунтування на цій основі параметрів та ефективності застосування таких конструкцій

Ключові слова: фосфогіпс, концентрація, радіаційний захист, наповнювач, рідкоземельні елементи, сульфат барію, вольфрам

Рассмотрены результаты сравнительных экспериментальных исследований влияния различных радиационно-защитных (РЗ) наполнителей композиционных материалов на основе фосфогипсового вяжущего на их РЗ свойства. Установлены закономерности влияния параметров рентгенозащитных конструкций на уровень радиационной защиты персонала с учетом свойств композиционных материалов на основе фосфогипса и обоснованы на этой основе параметры и эффективность применения таких конструкций

Ключевые слова: фосфогипс, концентрация, радиационная защита, наполнитель, редкоземельные элементы, сульфат бария, вольфрам

УДК 661.185-3:677.021.127

ОБОСНОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФОСФОГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

В. А. Иванов

Кандидат технических наук, доцент*
Контактный тел.: (0562) 47-37-21
E-mail: vaivan@ukr.net

К. С. Голов

Кандидат технических наук*
Контактный тел.: (0562) 47-37-21
E-mail: klipsch@ukr.net

Ю. В. Мисовец

Врач высшей категории, заведующий рентгенологическим отделением

Отделение городской клинической больницы № 18
ул. Гусенко, 2, г. Днепропетровск, Украина, 49005
Контактный тел.: (0562) 47-37-21

*Отдел проблем разработки месторождений на больших глубинах института геотехнической механики им. Н.С. Полякова
НАН Украины
ул. Симферопольская, 2а, г. Днепропетровск, Украина, 49005

Безусловным стимулом к интенсивному поиску и разработке новых технологий по созданию РЗ материалов с высокими защитными свойствами явилось открытие явления аномального изменения интенсивности потока квантов проникающего излучения полидисперсными моно- и многоэлементными средами [1]. Однако многочисленные попытки реализовать на практике возможности открытого физического эффекта показали, что это сопряжено с освоением, так называемых высоких технологий, недостаточная изученность которых явилась серьезным препятствием на пути получения стабильных результатов даже в лабораторных условиях.

Из литературных источников в области радиационной защиты и рентгенодиагностики известен опыт повышения РЗ свойств композиционных материалов не за счет увеличения концентрации РЗ наполнителя, а за счет повышения его дисперсности. Авторы [2, 3] путем введения в матрицу композиционного материала высокодисперсного РЗ наполнителя при определенной его концентрации достигли аномально высокого поглощению рентгеновского излучения, что обусловлено специфическими свойствами самоорганизующихся ансамблей полидисперсных частиц РЗ наполнителя. Следует, однако, иметь в виду, что предварительное диспергирование РЗ наполнителя для получения указанного эффекта связано с повышенными энергозатратами и необходимостью использования дорогостоящего высокотехнологичного измельчающего оборудования. Благодаря тому, что ансамбли из полидисперсных частиц РЗ наполнителя в композиционной матрице полученного РЗ материала нового поколения отклоняет фотоны рентгеновского излучения от прямолинейной траектории распространения, их фактический путь увеличивается, что эквивалентно увеличению толщины защитного слоя. В результате достигается превышение ослабления проникающего излучения по сравнению с общеизвестной классической экспоненциальной зависимостью. При этом оказывается возможным получение относительно легких высокоэффективных композиционных РЗ материалов, в которых достижение высокого уровня защиты обеспечивается при одновременном снижении и толщины, и массы РЗ материала.

Нужно особо отметить, что создание и освоение в производстве новых высокоэффективных РЗ материалов и защитных средств на их основе, в частности, для защиты от рентгеновского излучения попрежнему является актуальной проблемой не только в Украине, но и в странах широко использующих рентгеновское оборудование.

В процессе проведения сравнительных экспериментальных исследований в настоящей работе принята попытка создания композиционных материалов на основе фосфополугидрата сульфата кальция и чистого полугидрата сульфата кальция. Причём чистый полугидрат сульфата кальция, исходные свойства которого регламентируются рядом ГОСТов [2, 3], был выбран нами, прежде всего, с целью сравнительной оценки РЗ характеристик композиционного материала, получаемого на основе использования исходного сырья в виде фосфополугидрата. Фосфополугидрат отличается от стандартного чистого полугидрата лишь наличием примесей. Вполне понятно, что путём очист-

ки фосфополугидрата от примесей можно получить стандартный чистый полугидрат, широко применяемый в настоящее время в строительной индустрии. Однако процесс очистки фосфополугидрата от примесей связан с привлечением довольно трудоёмких и энергозатратных технологических процессов. В ряде случаев необходимость такой очистки не требуется, т.к. при изготовлении довольно широкой номенклатуры РЗ конструкций промышленного назначения в качестве исходного сырья может быть использован и неочищенный фосфополугидрат. В процессе исследований фосфогипс для изготовления экспериментальных образцов подвергался диспергированию с последующей дегидратацией его до фосфополугидрата. В промышленных масштабах выполнение указанных операций необходимо для придания фосфогипсу вяжущих свойств с последующим использованием его в качестве исходного сырья для получения РЗ конструкций промышленного назначения.

Использованные нами методики изготовления экспериментальных образцов размером 10x10x1,2 см и массой 100–120 г на основе как фосфополугидрата, так и чистого полугидрата сульфата кальция идентичны. Подготовка, проведение и обработка результатов исследований выполнялась согласно методикам и требованиям, изложенным в государственных стандартах и в рекомендациях по обработке результатов экспериментов [4].

Фосфополугидрат сульфата кальция в состоянии поставки на предварительном этапе подвергали сушке в сушильном шкафу при температуре 50 °С в течение 1 часа. Такой режим сушки является достаточным для выведения из фосфогипсового вяжущего избыточной влаги, что является обязательным перед проведением предэксплуатационного тестирования гипсового вяжущего.

Для обеспечения точности необходимого сочетания по массе компонентов в РЗ композиционном материале взвешивание исходных компонентов осуществляли на прецизионных весах WPS 210/C/1. Затем приготавливали суспензию РЗ наполнителя в воде с тщательным ее перемешиванием шнеком в течение 5–10 с до достижения однородности состава, после чего, ее выдерживали в течение 10–20 с в целях предварительного самоудаления пузырьков воздуха. В подготовленную таким образом суспензию вводили расчётное количество фосфополугидрата сульфата кальция и снова перемешивали до получения однородного теста. После этого тесто заливали в прямоугольную форму. Сама же форма находилась на вибростоле, при работе которого происходило окончательное удаление пузырьков воздуха и уплотнение фосфогипсового теста. Свежеприготовленную композицию подвергали прокатыванию вальцами для окончательного формирования прямоугольной формы и удаления избыточного теста.

Отверждение образцов осуществлялось при комнатной температуре на воздухе в течение 20 минут, а последующая сушка осуществлялась в сушильном шкафу 2В-151 при температуре 50–60 °С до приобретения образцами постоянной массы.

В заключение образцы подвергали шлифовке с доведением их до заданной толщины.

Тестирование РЗ свойств образцов проводилось на рентгеновской установке типа «РУМ-20», в кото-

рой используется тормозное рентгеновское излучение вольфрамового анода при напряжении в диапазоне 40–125 кВ. При этом источником указанного излучения при различных режимах являлась рентгеновская трубка типа «БД21-150» в составе рентгеновского диагностического излучателя «РИД-2-2».

Для характеристики РЗ свойств исследуемых композиционных материалов, по установившейся практике, использовали величину свинцового эквивалента в мм. Учитывая тот факт, что результаты исследований предназначены для реализации в конструкциях, эксплуатируемых в рентгенологических кабинетах, в частности, в качестве сердечников дверей, обшивки стен, ставней, экранов и др., тестирование образцов проводилось согласно «Инструкции по контролю защитных средств и материалов, используемых при рентгенодиагностике» [4]. Согласно Инструкции материалы, применяемые в рентгенодиагностике, подвергаются тестированию при следующих режимах: ускоряющее напряжение – 100 кВ, количество электричества 10 мА·с. Для тарировки величин свинцового эквивалента в качестве эталона был выбран свинец марки СО по ГОСТ 3778-98.

Для оценки РЗ свойств образцов проводился сравнительный анализ плотности почернения негатива рентгеновской пленки с изображением эталонного свинцового ослабителя и каждого из исследуемых образцов композиционного РЗ материала. Для этого было использовано сканирующее устройство EPSON Perfection V700 Photo, с помощью которого был получен электронный (растровый) вариант негатива рентгеновской пленки. Обработку растрового изображения осуществляли с использованием компьютерной программы Adobe Photoshop CS3 Extended. Указанное программное обеспечение даёт возможность определить по плотности почернения негативов рентгеновской пленки с изображениями образцов величины их РЗ свойств, выраженных в мм свинцового эквивалента.

С использованием указанной методики были проведены сравнительные экспериментальные исследования РЗ свойств композиционных материалов на основе фосфогипсового вяжущего в виде β-полугидрата сульфата кальция (Г-5Б(II) по ДСТУ Б.В.2.7-82-99) с РЗ наполнителями в виде редкоземельных элементов (РЗЭ) по ТУ 8-4-244-87, сульфата бария (ГОСТ Р 64/228/29 ФС 42-3074-94) и вольфрама (ТУ 48-19-352-91).

В проведенных исследованиях сравнительному экспериментальному тестированию подвергались образцы композиционных материалов, концентрация РЗ наполнителя в которых составляла 30 и 50 %.

Концентрация наполнителя, равная 30 %, была выбрана, опираясь на информацию, полученную из научно-технических и патентных источников, в которых она характеризуется как наиболее рациональная с точки зрения расхода РЗ наполнителя и приобретаемых композиционным материалом РЗ свойств [5–7].

Концентрация, равная 50 %, была выбрана, исходя из рекламной информации компаний «Knauf» и «Lafarge», серийно производящих конструкции на основе гипсовых матриц, наполненных для обеспечения РЗ свойств сульфатом бария [7, 8].

Результаты сравнительной оценки РЗ свойств образцов листовых композиционных материалов тол-

щиной 12 мм, полученных на основе фосфогипсового вяжущего с различными наполнителями при концентрации последних, равной 30 % по массе, приведены в табл. 1.

Таблица 1

РЗ свойства композиционного материала на основе β – фосфополугидрата сульфата кальция толщиной 12 мм и концентрацией наполнителя, равной 30 %

Вид наполнителя	РЗЭ	Сульфат бария	Вольфрам
Негатив образца			
Свинцовый эквивалент (δ_{Pb}), мм	0,70 ($\pm 0,05$)	0,40 ($\pm 0,10$)	0,75 ($\pm 0,05$)
Плотность композиционного материала, г/см ³	1,12 ($\pm 0,02$)	1,28 ($\pm 0,02$)	1,80 ($\pm 0,02$)

Необходимо отметить, что свинцовый эквивалент фосфогипсовой матрицы, не вмещающей РЗ наполнитель, не превышает 0,05 мм. Другими словами, фосфогипсовая матрица без РЗ наполнителя не оказывает существенного влияния на РЗ свойства образцов исследуемого листового композиционного материала.

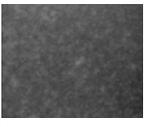
Неравномерная степень почернения негатива рентгеновского снимка образца (табл. 1), на основе полугидрата сульфата кальция с РЗ наполнителем в виде сульфата бария с концентрацией 30 % свидетельствует о технологической нестабильности, что связано с агломерацией сульфат бария в гипсовой матрице в процессе гидратации гипсового вяжущего. Аналогичная технологическая нестабильность в процессе изготовления композита имеет место и в фосфогипсовой матрице с РЗ наполнителем в виде вольфрама при той же концентрации 30 %, о чем свидетельствует пористость матрицы, проявляющаяся из-за протекания процесса преждевременного схватывания отдельных участков непромытого фосфополугидрата.

Результаты сравнительной оценки РЗ свойств образцов листовых композиционных материалов, толщиной 12 мм, матрица которых представляет собой фосфодигидрат и дигидрат сульфата кальция с различными наполнителями, но при концентрации последних 50 % по массе (табл. 2).

Неравномерная степень почернения негатива рентгеновского снимка образца на основе полугидрата сульфата кальция с РЗ наполнителем в виде сульфата бария и концентрацией последнего на уровне 50 % также свидетельствует о технологической нестабильности в процессе изготовления композита, что связано с неравномерностью распределения сульфата бария в гипсовой матрице, обусловленной его агломерированием в процессе гидратации гипсового вяжущего.

Таблица 2

РЗ свойства композиционного материала на основе β – фосфополугидрата сульфата кальция толщиной 12 мм и концентрацией наполнителя, равной 50 %

Вид наполнителя	РЗЭ	Сульфат бария	Вольфрам
Негатив образца			
Свинцовый эквивалент (δ_{Pb}), мм	1,10 ($\pm 0,05$)	0,75 ($\pm 0,10$)	1,20 ($\pm 0,05$)
Плотность композиционного материала, г/см ³	1,21 ($\pm 0,02$)	1,36 ($\pm 0,02$)	1,89 ($\pm 0,02$)

В то же время при использовании РЗ наполнителя фосфогипсовой матрицы в виде РЗЭ как при концентрации 30 %, так и при концентрации 50 %, указанная технологическая нестабильность не наблюдается.

Для большей наглядности полученные результаты представлены графически на рис. 1.

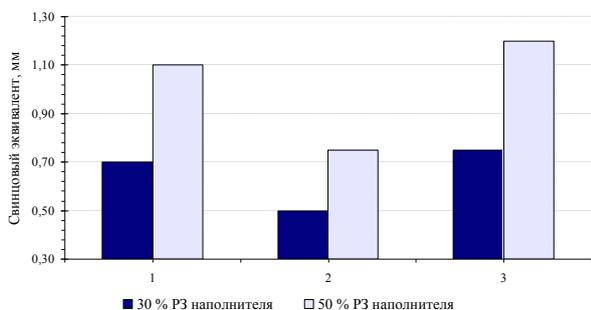


Рис. 1. Влияние вида наполнителя и его концентрации на РЗ свойства композиционных материалов: 1 – материал на основе фосфополугидрата и наполнитель в виде РЗЭ; 2 – материал на основе гипса полугидрата и наполнитель в виде сульфата бария; 3 – материал на основе гипса полугидрата и наполнитель в виде вольфрама

Образец на основе чистой гипсовой матрицы с введённым в неё вольфрамом при сопоставимых кон-

центрациях, естественно, имеет наиболее высокие РЗ свойства. Однако плотность данного РЗ композиционного материала, превышает плотность остальных РЗ композиционных материалов в 1,4–1,5 раза.

Из проведенного анализа результатов экспериментальных исследований влияния различных РЗ наполнителей композиционных материалов на основе фосфогипсового вяжущего на их защитные свойства можно заключить:

- сульфат бария в качестве РЗ наполнителя гипсовых матриц проявляет технологическую нестабильность в процессе изготовления композита в виду его агломерации при гидратации гипсового вяжущего;

- введение в гипсовую матрицу вольфрама при концентрации 50 % по массе композиционного РЗ материала придает ей наибольшие РЗ свойства, зафиксированные при ускоряющем напряжении 100 кВ свинцовый эквивалент $\delta_{Pb}=1,20$ мм;

- композиционный материал на основе фосфогипсового вяжущего с введенным в него дисперсным РЗ наполнителем в виде РЗЭ при концентрации 30 % по массе обеспечивает практически одинаковые РЗ свойства с композиционным материалом на той же основе с РЗ наполнителем в виде вольфрама при той же концентрации; так, при толщинах сравниваемых образцов, равных 12 мм, их свинцовые эквиваленты при ускоряющем напряжении 100 кВ практически одинаковы и составляют $(0,70 \pm 0,05)$ мм;

- в качестве наиболее эффективной области применения РЗЭ в качестве РЗ наполнителя фосфогипсового вяжущего можно рекомендовать коллективные средства защиты от рентгеновского излучения; однако предварительно перед употреблением сырья в виде фосфогипса необходимо измельчить и очистить от примесей;

- высокая эффективность применения РЗЭ в качестве РЗ наполнителя фосфогипсового вяжущего при концентрации 30 % по массе связана с обеспечением высоких РЗ свойств при значительно меньшей стоимости в сравнении с другими исследованными РЗ наполнителями (рис. 1) дисперсным вольфрамом.

Таким образом, проведенные сравнительные экспериментальные исследования убедительно показали, что РЗЭ являются технологичным и наиболее эффективным РЗ наполнителем гипсового вяжущего, что открывает перспективы для создания защитных средств (в том числе и коллективных) от рентгеновского излучения нового технического уровня.

Литература

1. Булат А.Ф., Иванов В.А., Голов К.С. Исследование радиационно-защитных свойств резиновых матриц с «квантовыми ловушками» из полидисперсной смеси сложного окисла редкоземельных элементов / Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім.М.С.Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 69. – С. 25-34. – ISSN 1607-4556.
2. ДСТУ Б В.2.7.-82-99 В'яжучі гіпсові. Технічні умови. – Взамен ГОСТ 125-79, ГОСТ 23789-79, ГОСТ 26871-86. – Введ. 03.02.1999. – К.: Держбуд України, 1999. – 30 с.
3. ГОСТ 125-79 Вяжущие гипсовые. Технические условия. – Взамен ГОСТ 125-70 и ГОСТ 5.1845-73. – Введ. 01.07.1980. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 12 с.
4. Инструкция по контролю защитных средств и материалов, используемых при рентгенодиагностике. – М.: Минздравмед-пром РФ. – 1995. – 9 с.

5. Явление аномального изменения интенсивности потока квантов проникающего излучения моно- и многоэлементными средами: Диплом на открытие № 57 / В. А. Иванов, Г. К. Катрацук, С. Н. Колюхов [и др.] // Научные открытия ученых СНГ: краткий справочник. – Под. ред. Ф. К. Клименко, С. Н. Зыбайло. – Днепропетровск: Новая идеология, 2008. – С. 112-113.
6. Булат, А. Ф. Радиационно-защитные материалы нового технического уровня / А. Ф. Булат, В. А. Иванов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 64. – С. 3-14.
7. Давыдов, А. С. Возбужденные состояния атомных ядер / А. С. Давыдов. – М.: Атомиздат, 1967. – 263 с.
8. Lafarge GIB X-block: This product is classified as hazardous according to the criteria of Worksafe Australia. – Lafarge Plasterboard PTY LTD, 2009. – 5 p.

Abstract

The results of comparative experimental studies of the effect of various radiation protection (RP) fillers of composite materials based on their fosfogypsum binding properties of RP

From the analysis of results of experimental studies of the effect of various rare-earth filling of composite materials based on their binding fosfogypsum protective properties may be concluded. Barium sulfate as the RE filler plaster matrix displays technological instability in the manufacturing process of the composite since its metropolitan hydration gypsum. An introduction to the gypsum matrix of tungsten at a concentration of 50% by weight of the composite material gives it the RP largest properties, recorded at an accelerating voltage of 100 kV lead equivalent $\delta Pb = 1,20$ mm. Composite material based on fosfogypsum binder incorporated therein particulate filler in the form of RP at a concentration of 30% by weight provides almost the same properties of RP with composite materials on the same basis with the RE filler in the form of tungsten at the same concentration.

Keywords: phosphogypsum concentration, radiation protection, filler, rare earth elements, barium sulfate, tungsten

Розглядаються фізичний зміст розширених формул теорії відносності та гравітації. Гравітація представлена сумою плоских вирів елементарних частинок. Вводиться зміна заряду на великих відстанях

Ключові слова: теорія відносності, гравітація, електричний заряд, вир

Рассматриваются физический смысл расширенных формул теории относительности и гравитации. Гравитация представлена суммой плоских водоворотов элементарных частиц. Вводится изменение заряда на больших расстояниях

Ключевые слова: теория относительности, гравитация, электрический заряд, водоворот

УДК 530.18 (УДК 530.10(075.4))

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА

С. Н. Яловенко

Кандидат технических наук
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166
Контактный тел: 067-718-55-17
E-mail: Serg33net@mail.ru

Чёрный предел. Часть 10. Тайна времени или эфирная теория относительности.

В предыдущих главах были получены расширенные формулы для теории относительности

$$M(V) = M_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} \times \left[1 - \left(\frac{GM_0}{c^2 R_0} \right) \frac{1}{1 - v^2 / c^2} \right] \left(\frac{1}{1 - \frac{l(V)}{l_{max}}} \right) \quad (1)$$

$$T(V) = T_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} \times \left[1 - \left(\frac{GM_0}{c^2 R_0} \right) \frac{1}{1 - v^2 / c^2} \right] \left(\frac{1}{1 - \frac{l(V)}{l_{max}}} \right) \quad (2)$$

$$I(V) = I_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}} \times \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{GM_0}{c^2 R_0} \right) \frac{1}{1 - v^2 / c^2}} \right] \left(\frac{1}{1 - \frac{l(V)}{l_{max}}} \right) \quad (3)$$