

**ХИМИЯ ИЛИМДЕРИ**  
**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**CHEMICAL SCIENCE**

*Турдубаева Ж.А.*

**ЭЛЕКТРОМАГНИТТИК НУРДАНУУДАН ТОСУУЧУ КОМПОЗИЦИЯЛЫК МАТЕРИАЛ АЛУУ МАКСАТЫНДА ОКСИД КОМПОНЕНТТЕРИН ЭСЕПТӨӨНУ МАТЕМАТИКАЛЫК МОДЕЛДЕШТИРҮҮ**

*Турдубаева Ж.А.*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ОКСИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭКРАНИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

*J.A. Turdubaeva*

**MATHEMATICAL MODELING FOR CALCULATING THE OXIDE COMPONENTS TO OBTAIN A COMPOSITE EMI SHIELDING**

УДК: 553.43:553.21

Оксид кошулган материалдын технологиялуулугун баалоо үчүн кошулманын седиментациялык туруктуулугун баалоо жүргүзүлдү. Оксиддик толтургуч менен байланыштыргыч бириктирилгенде пайда болгон чоңураак агрегаттар 10-20 минута аралыгында жогору көрсөтүлдү. Акиташ жана силикат модулунун каныгуу коэффициентин аныктоо максатында жана керектүү өзгөртүп түзүүнү алууда эки белгисиздүү эки тендеме алынды. ЭВМдин жардамы менен алынган тендемелер колдонуп композициялык материалдын оптималдуу составын эсептеп чыгарууга болот. Композициялык материалдын электромагниттик нурдануудан (ЭМН) коргоо эффективдүүлүгү үйрөнүлдү жана нурдануунун басандоо даражасынын коэффициенти аныкталды. Бирдей шарттарда ар түрдүү электромагниттик нурдануудан коргонуу эффективдүүлүгү материалдын составындагы чон бөлүкчөсүнүн кичине бөлүкчөсүнө болгон 2:1 катышынан баштап көбөйөт.

**Негизги сөздөр:** композициялык материал, электромагниттик нурдануу, нанопорошок, нанобөлүкчө.

Для оценки технологичности наполненного оксидом материала была проведена оценка седиментационной устойчивости смеси. Показана, что после совмещения оксидного наполнителя со связующим происходит осаждение наиболее крупных агрегатов в течение 10-20 минут. С целью определения коэффициента насыщения известью и силикатного модуля и проведения соответствующих преобразований получены два уравнения с двумя неизвестными. С использованием полученного уравнения можно рассчитать оптимальный состав композиционного материала с помощью ЭВМ. Изучена защитная эффективность композитного материала от электромагнитного излучения (ЭМИ) оценивалась степень коэффициента ослабления ЭМИ. Установлено, что при прочих равных условиях заметное повышение защитного эффекта материала от ЭМИ достигается при отношении максимального размера частиц наиболее крупной фракции к минимальному размеру частиц наиболее мелкой фракции, начиная с 2:1.

**Ключевые слова:** композиционный материал, электромагнитное излучение, нанопорошок, наночастица.

To evaluate the processability of the filled material oxide mixture sedimentation stability evaluation was conducted. It is shown that after combining the oxide filler to the binder is deposited largest aggregates for 10-20 minutes. In order to determine the saturation ratio of lime and silicate module and conduct transformations obtained two equations with two unknowns. Using the resulting equations can calculate the optimal composition of the composite material with the aid of a computer. Studied the protective efficacy of the composite material by electromagnetic radiation (EMR) was estimated degree of attenuation EMI. It has been established that a significant increase in the protective effect material EMI *ceteris paribus* achieved with respect to the maximum size of the largest particles fraction to the minimum size of particles of fine fraction the most, starting at 2: 1.

**Key words:** the composite material, electromagnetic radiation, nanopowder, nanoparticle.

В последние десятилетия в материаловедении интенсивно развивается новое направление, связанное с получением оксидных порошков, исследованием их свойств и созданием материалов на их основе. Оксидные материалы, включающие или состоящие из оксидов металлов, могут обладать уникальными свойствами, недостижимыми традиционными методами. Область применения оксидных порошков чрезвычайно широка. Их используют в качестве функциональных добавок и активаторов спекания в порошковой металлургии, наполнителей в композитах и т.д.

Использование оксидных частиц в производстве композиционных материалов, позволяет получать новые классы конструкционных керамик с улучшенными эксплуатационными качествами, что позволяет расширить область их практического применения в современной строительной индустрии [1].

Известно, что эффективность модификации электроизоляционных материалов жесткими дисперсными частицами зависит от следующих характеристик наполнителя: размера и формы

частиц, их объемной доли, распределения частиц по размерам, однородности распределения наполнителя по объему системы.

В силу высокой активности поверхности наноразмерных оксидных частиц они обладают большой склонностью к агрегированию, что затрудняет их однородное распределение в материале. Это связано с тем, что порошкообразные оксидные наночастицы относятся к агломерированным наполнителям с эффектами структурности и диспергирующего смешения, приводящим как к статистическому образованию агломератов, так к статистически случайному их разделению.

Это обуславливает определенную фракционность: распределение агломератов частиц по различным диаметрам, размеры которых зависят от исходного сырья и особенностей технологического процесса получения. Взаимное сцепление частиц в дисперсных системах обусловлено силами различной природы. Этот процесс агрегации отражается на макроскопических свойствах композитов. Так, например, агрегация исходных частиц наполнителя приводит к повышению модуля упругости и снижению ударной вязкости композитов [2]. Агрегация частиц приводит к необходимости рассчитывать средний диаметр частиц, поскольку этот показатель влияет на величину зазора между частицами, которая определяет уровень структурной напряженности, свойства материала при сдвиге и в трансверсальном направлении. Таким образом, разработка технологии совмещения низкоразмерных оксидных частиц с оксидной матрицей, позволяющей снизить степень агрегации частиц и добиться однородного распределения при изготовлении материала, модифицированного оксидным порошком, является актуальной практической задачей.

Для оценки технологичности наполненного оксидом материала была проведена оценка седиментационной устойчивости смеси [3].

Проведенные эксперименты показывают, что после совмещения оксидного наполнителя со связующим происходит осаждение наиболее крупных агрегатов в течение 10-20 минут. Следует отметить, что доля осевших частиц невелика по сравнению с их общим количеством. Оставшиеся частицы достаточно равномерно при визуальном осмотре, распределяются в объеме связующего и их поведение определяется не столько силой тяжести, сколько тепловым движением и силами физического взаимодействия. Эксперимент показал, что полимерная композиция седиментационно устойчива в течение 8 часов. Однако микроскопические исследования срезов образцов после отверждения показали, что и после отбора верхних слоев полимера распределение частиц по глубине образца неоднородно. Следовательно, необходимо дополнительное воздействие, для обеспечения хорошего диспергирования наполнителя.

С целью повышения качества смеси целесообразно применить механическую обработку напол-

ненного связующего. Важную роль на качество смешения оказывает и среда, в которую вводится наполнитель. Выбор компонента, в который следует добавлять нанопорошок, имеет определенное значение. На характер протекания структурообразующих процессов, а, следовательно, на качество отвержденного материала влияет температурно-временной режим отверждения композиции.

Правильный выбор температурно-временных условий отверждения эпоксидной композиции определяют уровень физико-механических свойств материала и приводит к понижению степени агрегации. На основе объединенного анализа прочностных свойств и степени отверждения образцов, из исследуемых режимов отверждения был выбран оптимальный.

Рассматриваемые ступенчатые режимы отверждения и охлаждения являются типичными для ненаполненных композиций, что позволяет не вносить изменения в технологический процесс.

Достаточно быстрое отверждение не дает образоваться достаточно крупным агрегатам, а последующее длительное ступенчатое охлаждение позволяет снять остаточные напряжения. В целом третий режим обеспечивает получение наиболее оптимальных характеристик композитного материала.

Особенностью процесса является то, что изменения в технологической линии происходят только на участке приготовления связующего. Смеситель дополнительно оснащается ультразвуковой установкой и при транспортировке связующего в пропиточную ванну происходит отсеивание крупных агломератов частиц. Следовательно, модернизация любого вида производства будет происходить без существенного изменения технологического процесса.

Для оценки состава клинкера используется также различные условные величины, характеризующие отношение тех или иных оксидов минералов в составе сырьевой смеси или клинкера. В нашей республике используется коэффициент насыщения известью, т.е. отношение фактического содержания извести в клинкера к максимально возможному, а также силикатный (кремнеземистый) и алюминатный (глиноземистый) модули, отражающие количественное отношение между оксидами кремния, алюминия, железа [4].

Коэффициент насыщения по Кинду будет

$$KH = \frac{CaO - (1.65Al_2O_3 + 0.35Fe_2O_3 + 0.75SO_3)}{2.8SiO_2} \quad (1)$$

Обычно КН колеблется в пределах 0,8-0,95.

Силикатный модуль отражает соотношение минералов – силикатов и промежуточного вещества в клинкере через отношение соответствующих оксидов:

$$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (2)$$

Силикатный модуль может изменяться от 1,7-3,5. Наиболее благоприятные значения силикатного модуля расположены в интервалах 2,2-2,6. С ростом силикатного модуля ухудшается способность клинкера к обжигу при снижении содержания жидкой фазы. В то же время рост силикатного модуля является причиной замедления схватывания и твердения цемента. При уменьшении силикатного модуля возрастает содержание жидкой фазы, что обуславливает хорошую «обжигаемость» клинкера и образование обмазки в печи.

Алюминатный (глиноземный) модуль характеризует состав и вязкость жидкой фазы при обжиге клинкера отношением содержащихся в нем глинезема и оксида железа:

$$P = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (3)$$

Обычно алюминатный модуль равен 1,5-2,5. Глиноземный модуль имеет решающее значение при определении содержания жидкой фазы в клинкере. Высокий глиноземный модуль при низком силикатном модуле приводит к быстрому схватыванию цементов. В этом случае нужно добавлять определенное количество гипса для регулирования сроков схватывания.

Для определения коэффициента насыщения известью и силикатного модуля и проведения соответствующих преобразований получим два уравнения с двумя неизвестными  $x$  и  $y$ :

$$x[(2,8KS_K S_1 + 1,65 A_1 + 0,35 F_1) - C_1] + y[(2,8KS_K S_2 + 1,65 A_2 + 0,35 F_2) - C_2] = C_3 - (2,8KS_K S_3 + 1,65 A_3 + 0,35 F_3);$$

$$x[SM(A_1 + F_1) - S_1] + y[SM(A_2 + F_2) - S_2] = S_3 - SM(A_3 + F_3).$$

В целях упрощения дальнейших расчетов вводим следующие обозначения:

$$a_1 = (2,8KS_K S_1 + 1,65 A_1 + 0,35 F_1) - C_1;$$

$$b_1 = (2,8KS_K S_2 + 1,65 A_2 + 0,35 F_2) - C_2;$$

$$c_1 = C_3 - (2,8KS_K S_3 + 1,65 A_3 + 0,35 F_3);$$

$$a_2 = SM(A_1 + F_1) - S_1;$$

$$b_2 = SM(A_2 + F_2) - S_2;$$

$$c_2 = S_3 - SM(A_3 + F_3).$$

С учетом введенных обозначений уравнения для  $x$  и  $y$  получают следующий вид:

$$a_1 x + b_1 y = c_1;$$

$$a_2 x + b_2 y = c_2.$$

После решения этой системы уравнений находим  $x$  и  $y$ :

$$x = (c_1 b_2 - c_2 b_1) / (a_1 b_2 - a_2 b_1);$$

$$y = (a_1 c_2 - a_2 c_1) / (a_1 b_2 - a_2 b_1). \quad (4)$$

Для определения оптимального состава композиционного материала [5,6] нами проведены расчеты на ЭВМ с использованием уравнения (4).

Для повышения удельной экранирующей эффективности материала нами проводились исследования за счет оптимизации гранулометрического состава наполнителя [7,8].

По существующим на сегодняшний день представлениям, порошкообразный наполнитель должен быть достаточно мелкодисперсным и одновременно однородным по размерам частиц, поскольку при именно этих условиях достигается наилучшее качество радиозащитного материала.

Используемые в настоящее время в качестве наполнителя порошки, на сите с размером ячеек 4 мкм равный 0,5% и имеют весьма однородный по размерам частиц состав, средний размер которых составляет около 1 мкм.

Однако, исследованиями было установлено, что указанные условия не являются оптимальными для получения высокоэффективного материала. В частности, было показано, что при использовании неоднородного по размерам частиц порошкообразного наполнителя можно добиться получения защитного материала от электромагнитного излучения (ЭМИ) с повышенной удельной эффективностью.

Для подтверждения вышесказанного на основе стандартной резиновой смеси был приготовлен ряд образцов защитного материала от ЭМИ с использованием оксида алюминия как наполнителя с разной степенью неоднородности частиц по размерам. С этой целью были подготовлены порошки наполнителя разного гранулометрического состава. С использованием минимально необходимого для сохранения эластичных свойств количества резиновой основы была получена вязкая масса, которую раскатывали до толщины 2 мм и подвергали отверждению, получая образцы определенных размеров.

Аналогичным образом готовились образцы защитного материала от ЭМИ. Поскольку равное количество наполнителя разного гранулометрического состава занимает неодинаковый объем, то для сохранения эластичности получаемого материала требовались разные минимальные количества матричной основы. В результате полученные образцы отличались по размерам и по удельной плотности наполнителя, т. е. по весовому содержанию наполнителя в единице объема полученного материала.

Защитная эффективность образцов материалов от ЭМИ оценивалась степенью коэффициента ослабления ЭМ излучения т.е. во сколько раз снизилась регистрируемая величина проникающего ЭМИ.

На основании полученных результатов установлено, что при прочих равных условиях заметное повышение защитного эффекта материала от ЭМИ достигается при отношении максимального размера частиц наиболее крупной фракции к минимальному размеру частиц наиболее мелкой фракции, начиная с 2:1. Величина же максимального в данных условиях коэффициента ослабления излучения зависит как от

соотношений размеров частиц, так и от минимального размера частиц. Так, при минимальном размере частиц наполнителя, равном 1 мкм, наиболее высокая защитная эффективность материала от ЭМИ достигается при отношении максимального размера частиц наиболее крупной фракции к минимальному размеру частиц наиболее мелкой фракции, составляющем 500:1 - 1000:1. Однако, при минимальном размере частиц наполнителя, равном 50 мкм, максимальный эффект экранирования проявляется при величине указанного соотношения, составляющей 10:1 - 30:1. Из этого, в частности, следует, что при использовании как компонентов наполнителя углеродных порошков, используемых в настоящее время для изготовления защитных материалов от ЭМИ, частицы которых имеют минимальные размеры до 1,0 мкм, размеры наиболее крупных частиц других компонентов наполнителя желательны должны составлять 500- 1000 мкм. Следовательно, определенная величина соотношения размеров наиболее крупных и наиболее мелких частиц наполнителя может быть обеспечена при разных абсолютных размерах наиболее мелких (или, наоборот, наиболее крупных) частиц наполнителя [9].

**Вывод:**

1. Величина максимального коэффициента ослабления ЭМИ зависит как от соотношений размеров частиц, так и от минимального размера частиц. При минимальном размере частиц наполнителя, равном 1 мкм, наиболее высокая защитная эффективность материала от ЭМИ достигается при отношении максимального размера частиц наиболее крупной фракции к минимальному размеру частиц наиболее мелкой фракции, составляющем 500:1 - 1000:1. А при размере частиц наполнителя, равном 50 мкм, максимальный эффект экранирования

проявляется при величине указанного соотношения, составляющей 10:1 - 30:1.

**Литература**

1. Ташполотов Ы., Жогаштиев Н.Т., Турдубаева Ж., Садьков Э., Дуйшеева С. Разработка технологии получения наноструктурных материалов на основе местных минерально-сырьевых ресурсов // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.econf.rae.ru/article/7502>, 06.03.2013.
2. Хвостов С.А., Ананьева Е.С., Маркин В.Б. Влияние ультрадисперсного наполнителя на физико-механические характеристики полимерных матриц эпоксидной группы // Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. Т.1. – С. 503 – 506.
3. Прасолов В. А., Алчина С.И., Колотов А. В. Способ определения седиментационной устойчивости тампонажных растворов./ Патент РФ, Р1617714 . 30.07.78. Бюллетень № 28 (53) УДК 666.949.9:622.24 (088.8). // <http://www.findpatent.ru/patent/61/617714.html>
4. Тейлор Х. Химия цемента. М.: Мир, 1996. -560 с.
5. Шмигальский В.Н. Оптимизация состава цементобетон. - Кишинев: «Штиинца». - 1981.-124 с.
6. Шмигальский В.Н. Котова Г.Д. Применение ЭВМ для корректировки состава бетона при изменении качества его компонентов // Архитектура и строительство. – Межвузовский сборник КПИ. – Кишинёв: «Штиинца». – 1978. – С. 57-67.
7. Перханова Ы., Ташполотов Ы. Определение дисперсного состава частиц сурьмы с помощью волоконистых фильтров ФП // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.econf.rae.ru/article/5532](http://www.econf.rae.ru/article/5532).
8. Ташполотов Ы., Арапов Б. Самоорганизация фрактальных конденсированных систем. Бишкек: Илим, 2004. – 132 с.
9. Рудаев Я.И., Сеитов Б.М., Ордобаев Б.С. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана - 2016. № 1. С. 24-28.

**Рецензент: к.т.н., доцент Жоробеков Б.А.**