

где  $T_{\text{гнт}}$  - время, затраченное на поворот штатива  $L_{\text{гнт}}$  - угол поворота штатива,  $V_{\text{гнт}}$  - скорость вращения штатива.

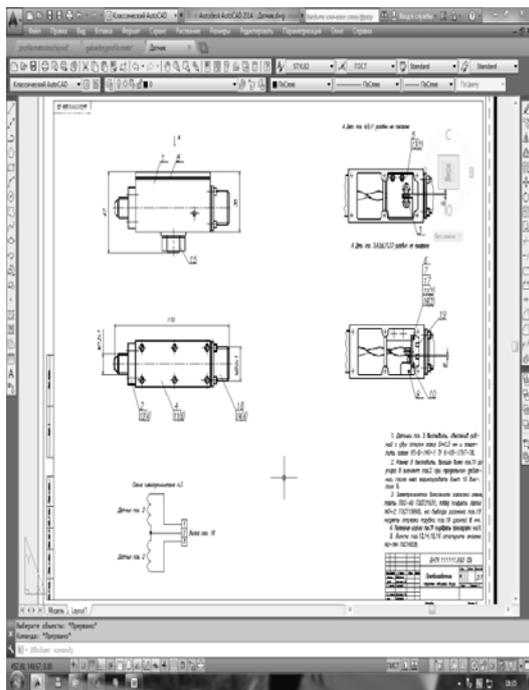


Рисунок 1. Алгоритм определения интегральной длительности сеанса облучения онкологического пациента

Время вращения коллиматора ускорителя определялось из формулы:

$T_{\text{col}} = L_{\text{col}} / V_{\text{col}}$ , где:  $T_{\text{col}}$  - время, затраченное на поворот коллиматора,  $L_{\text{col}}$  - угол поворота коллиматора,  $V_{\text{col}}$  - скорость вращения коллиматора;  $T_{\text{общ}}$  - общее время сеанса облучения;  $T_i$  - время облучения отдельного радиационного поля;  $MU_i$  - количество monitorных единиц;  $T_{\text{col}}$  - время потраченное на вращение коллиматора;  $V_{\text{MU}}$  - monitorных единиц в секунду;  $T_{\text{мед}}$  - время нахождения персонала в процедурном помещении;  $L_{\text{сч}}$  - угол поворота

терапевтического стола;  $V_{\text{сч}}$  - градусов в секунду;  $t_{\text{клин}}$  - время, затрачиваемое на смену клиновидного фильтра;  $t_{\text{см.и.}}$  - время, затрачиваемое на смену изоцентра облучения.

На основании полученного авторами алгоритма определения интегральной длительности сеанса облучения онкологического пациента была разработана математическую модель, позволившая проводить вычисление общего времени, затрачиваемого на проведение сеанса лучевой терапии онкологического пациента и учесть эту величину при определении параметров планов облучения пациентов, получающих лучевое лечение с использованием линейных ускорителей электронов в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова.

$$T_{\text{общ}} = \sum T_i;$$

$$T_i = MU_i * K_{\text{MU}} + T_{\text{col}} + T_{\text{мед}} + L_{\text{сч}} / V_{\text{сч}} + T_{\text{клин}} + T_{\text{см.и.}}$$

Внедрение в клиническую практику РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова разработанной модели позволит учесть временные параметры сеанса облучения онкологического пациента, что позволит оптимизировать процесс дозиметрического планирования параметров лечения и повысить качество проводимых процедур лучевой терапии.

#### Литература

1. Тарутин. И.Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии / И. Г. Тарутин, Е.В. Титович. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 175 с.
2. Алгоритмы диагностики и лечения злокачественных новообразований: сб. науч. ст. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Респ. науч.-практ. центр онкологии и мед. радиологии им. Н. Н. Александрова; под ред. О. Г. Суконко, С. А. Красного. – Минск: Профессиональные издания, 2012. – Вып. 2. – 508 с.
3. Лучевая терапия: учебник / Г. Е. Труфанов [и др.]; под ред. Г. Е. Труфанова. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 208 с.

УДК 666.766:[666.321+614.842.615]

### ТЕПЛО- И ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ, ПОТЕРЯВШИХ СВОИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Попов Р.Ю.<sup>1</sup>, Богдан Е.О.<sup>1</sup>, Белугин Д.С.<sup>1</sup>, Колонтаева Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Тепло- и звукоизоляция играет важную роль в жизни человека – это изоляция тепловых агрегатов, зданий, сооружений, утепление различных узлов и коммуникаций теплотехнического оборудования и т.д. Теплоизолирующие материалы, применяющиеся в промышленности строительных материалов, позволяют экономить от 20 до 70 % топлива, при

этом осуществляется снижение перепада температур в тепловых агрегатах, уменьшение толщины ограждающих конструкций, существенно ускоряется процесс обжига, а также качество обжигаемых изделий.

Использование звукоизолирующих материалов обеспечивает защиту помещений от проникновения в них излишних шумов от внешних

источников, оборудования и т. д., обеспечивая комфортные условия труда и отдыха людей. Частично звук задерживается и рассеивается внутри пористого материала, а часть его отражается от поверхности и уходит обратно во внешнюю среду. Создание пористой текстуры возможно при применении нескольких технологий. В керамической отрасли традиционно применяют несколько методов поризации структуры: введение выгорающих добавок, в качестве которых выступают органические компоненты – опилки, торф, уголь, сгорающие при синтезе, образуя поры; использование пенообразования (с применением различных пен) или химического газообразования (металлический алюминий с кислотами или щелочами). Анализ литературных данных показывает, что применение шликерной технологии с использованием пенообразователей позволяет получать изделия, характеризующиеся высокой пористостью (до 85 %) и равномерной ячеистой структурой, что обеспечивает высокие теплоизоляционные свойства конструкций.

В качестве пенообразователей традиционно применяют поверхностно-активные продукты нефтепереработки и нефтехимического синтеза, а также природные органические вещества (например, канифольное мыло, сапонин), способные образовывать устойчивые во времени пены. Такую же функцию могут выполнять и пенообразователи для пожаротушения с истекшим сроком годности и подлежащий утилизации.

Согласно данным Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций, ежегодно в Республике Беларусь образуется порядка 70–100 т пенообразователей с истекшим сроком годности, которые подлежат утилизации.

Следует отметить, что невостребованные в течение установленного срока годности указанные пенообразователи для тушения пожаров сохраняют вполне приемлемые пенообразующие свойства и могут представлять интерес для получения пористой керамики.

В связи с этим, исследования в области получения эффективных теплоизоляционных материалов и изделий на основе глинистого сырья Республики Беларусь и пенообразователей для пожаротушения с истекшим сроком годности являются актуальными, поскольку направлены на импортозамещение, ресурс- и энергосбережение.

Для получения теплоизоляционных материалов были разработаны 2 серии составов масс. Составы керамических масс 1-й серии включали следующие сырьевые компоненты: каолин месторождения «Дедовка» (Республика Беларусь), обогащенный мокрым способом, глина «Керамик-Веско» (Украина) и предварительно синтезированный алюмосиликатный шамот. Составы масс 2-й серии были разработаны на основе тугоплавкой глины

месторождения «Городок» (Республика Беларусь) и алюмосиликатного шамота.

Для создания ячеистой структуры материала использовался пенообразователь «Барьер-пенкообразующий» с истекшим сроком годности и подлежащий утилизации. Указанный пенообразователь представляет собой водный раствор поверхностно-активных веществ (ПАВ).

В связи с тем, что к пенам, применяемым для получения пористых изделий, предъявляются высокие требования в отношении их устойчивости во времени, кратности, дисперсности и прочности пленок, были проведены исследования утилизируемых пенообразователей и свойств пен, полученных на их основе.

Основные свойства пенообразователя и пены, полученной дисперсионным методом на приборе Росс-Майлса по стандартной методике при температуре  $293 \pm 2$  К, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные свойства пенообразователя и полученной пены

Наименование свойства	Значение
Поверхностное натяжение пенообразователя, мДж/м <sup>2</sup>	22–25
Водородный показатель	10,8–11,0
Плотность раствора ПАВ, кг/м <sup>3</sup>	1040–1070
Пенное число, мм	180–183
Кратность пены	9–10
Устойчивость пены, %	88–90
Скорость разрушения пены (в течение 5 мин), %/мин	2,5–3,0
Плотность пены, кг/м <sup>3</sup>	240–260

При исследовании структуры пены отмечается наличие газовых пузырьков в виде многогранников, отличающихся малым содержанием жидкой фазы и характеризуются высокой стабильностью (рисунк. 1).



Рисунок 1 – Форма ячеек пены (×10)

Проведенные исследования пенообразователя свидетельствуют о возможности его применения для получения тепло- и шумоизоляционных керамических материалов.

Для получения теплоизоляционных материалов по шликерной технологии суспензию готовили следующим образом. Предварительно подготовленные глинистые компоненты и алюмосиликат-

ный шамот смешивались в необходимых соотношениях, затем добавлялась вода до влажности шликера 40–50%. Суспензия тщательно перемешивалась до однородности с помощью миксера. Отдельно готовилась пена методом диспергирования пенообразователя «Барьер-пленкообразующий» в лабораторной мешалке, а затем вводилась в шликер.

Для стабилизации пеномассы использовали мездровый клей в количестве 20% (сверх 100%). Дополнительно в полученную суспензию вводили гипсовое вяжущее марки Г-5 в количестве 10–20%, а также портландцемент М400 – 15 (сверх 100%), добавление которых способствовали упрочнению отлитого полуфабриката и ускорению процессов сушки за счет активного поглощения влаги при гидратации.

Формование полуфабриката осуществлялось методом литья приготовленного шликера в специальные формы, с последующей сушкой и обжигом изделий в интервале температур 1200–1300°С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Синтезированные материалы, полученные на основе разработанных составов масс 1-ой и 2-ой серии, характеризовались следующими физико-техническими свойствами: водопоглощение 61,1–72,6%, кажущаяся плотность 640–880 кг/м<sup>3</sup>, пористость 41,4–79,12%, прочность при сжатии 1,35–2,74 МПа, коэффициент теплопроводности 0,2–0,36 Вт/(м·К).

Рентгенофазовый анализ, проведенный с помощью рентгеновского дифрактометра D8 Advance фирмы Bruker (Германия), позволил установить, что фазовый состав синтезированных материалов представлен преимущественно муллитом ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), кварцем ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) и кристобалитом ( $\text{SiO}_2$ ).

Результаты исследования микроструктуры синтезированных материалов, выполненного на сканирующем электронном микроскопе «Miga» фирмы «Tescan» (Чехия), представлены на рисунке 2.

Анализ полученных микрофотографий

позволил установить, что материал обладает значительной пористостью. Равномерно распределенные по объему материала поры имеют изометричную форму и характеризуются средним размером 750 мкм. На поверхности изломов фиксируются кристаллические образования в виде призм продолговатой формы, которые, согласно габитусу кристалла, можно идентифицировать как муллит. Скопления кристаллов различной формы и размеров располагаются как на поверхности, так и во внутренних полостях пор и аналогичны для образцов всех исследуемых составов. Повышение температуры обжига от 1200 до 1300°С приводит к уменьшению размера пор, их внутренняя поверхность остекловывается с образованием раковистого излома. Образцы, обожженные при температуре 1300°С, характеризуются повышенным содержанием стекловидной фазы, наличием пор округлой замкнутой формы средним размером 6 мкм.

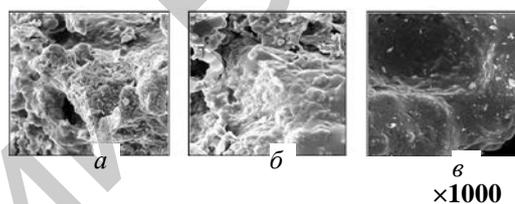


Рисунок 2 – ЭМ-изображение поверхности синтезированных материалов при температурах: а–1200°С; б–1250°С; в–1300°С

Проведенные исследования показали целесообразность применения глинистого сырья Беларуси и утилизируемого пенообразователя «Барьер-пленкообразующий» для получения ячеистых теплоизоляционных керамических материалов, что позволит расширить сырьевую базу керамической отрасли, ассортимент выпускаемой продукции, решить проблемы импортозамещения, ресурсо- и энергосбережения, а также утилизации пенообразователей для пожаротушения с истекшим сроком годности.

УДК 536.46

### ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Дятлова Е.М.<sup>1</sup>, Попов Р.Ю.<sup>1</sup>, Мухлядо В.И.<sup>1</sup>, Варфоломеев В.С.<sup>1</sup>, Шамкалович В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

С развитием техники и технологии неуклонно возрастает потребность в материалах, способных демонстрировать высокие эксплуатационные характеристики в экстремальных условиях. Такие материалы, в зависимости от предъявляемых к ним требованиям, должны быть жаропрочными, износостойкими, химически инертными при

контакте с агрессивными средами и отвечать другим не менее важным свойствам. Однако получение тугоплавких и огнеупорных соединений и изделий из них по традиционной технологии сопряжено со значительными материальными затратами. Такие технологии основаны на медленном протекании химических процессов при высоких температурах.