

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-2.123>

УДК 614.841

СИНТЕЗ НОВЫХ НЕГОРЮЧИХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Джураев С.М., Курбанбаев Ш.Э., Нурмухаммадов Ж.Ш.

Цель. Разработка новых огнестойких теплозащитных материалов, повышающих энергоэффективность и пожарную безопасность зданий и сооружений.

Результаты. Разработаны новые составы пористых плиточных материалов на основе минерала доломита, стандартного натриевого жидкого стекла и минеральных кислот, с добавлением органических наполнителей. Исследования пожарнотехнических характеристик полученных материалов, таких как горючесть и коэффициент дымообразования, показали их негорючесть.

Область применения исследований. Представленные результаты исследований в области синтеза новых пористых материалов и могут быть использованы в области повышения огне- и теплозащиты строительных конструкций.

Ключевые слова: теплоизоляция, теплозащитные материалы, натриевое жидкое стекло, доломит, минеральная кислота, органические наполнители, пористый материал, горючесть, дымообразование.

(Поступила в редакцию 19 марта 2020 г.)

Введение

На сегодня эффективное обеспечение энергосбережения – актуальная задача во всем мире. Особенно остро стоит эта проблема в странах небогатых энергоресурсами.

Анализ результатов современных исследований показывают, что основным резервом энергосбережения является снижение потребления энергоресурсов объектами жилищно-общественного назначения, доля которых в строительной отрасли свыше 80 %. Поэтому снижение расхода тепла на обогрев зданий и сооружений – одно из перспективных направлений экономии тепловой энергии. Стоит обратить внимание и на то, что в климатических условиях региона Центральной Азии возрастает спрос на охлаждающие устройства для жаркого летнего периода. Поэтому, несмотря на то, что страны региона имеют большой запас топливных энергоресурсов (природный газ и нефть), целесообразно возводить энергоэффективные здания¹ [1–3].

Теплоизоляция строительных конструкций является одним из эффективных инструментов уменьшения потребности в отоплении и достижения энергосбережения. Для энергосбережения в зданиях и сооружениях необходимо применять эффективный теплоизоляционный материал, который обладает заданными теплотехническими характеристиками, такими как пониженные значения пожарной опасности, водо- и влагопоглощения, повышенная долговечность и относительно низкая себестоимость, более низкая теплопроводность² [4–8].

Один из важнейших критериев выбора теплоизоляционного материала – это его пожарные характеристики. Согласно международным стандартам (ISO 1182) материал определяется как негорючий, если при температуре 750 °С не загорается и не начинает тлеть. Огнестойкость – второе важное свойство. Если негорючесть определяет способность материала не загораться, то огнестойкость – сохранение материалом свойств в условиях высоких температур.

Исследования по созданию и совершенствованию свойств эффективных теплозащитных материалов, включающих новое, более эффективное сырье, на сегодня приобрета-

¹ Повышение энергоэффективности зданий в Узбекистане: направления реформ и ожидаемые эффекты // Аналитический доклад. – Ташкент. – 2014. – 59 с.

² См. сноску 1.

ют все большую актуальность. В современном строительстве растет потребность в экологически чистых, пожаробезопасных и долговечных теплоизоляционных материалах и этим требованиям отвечают силикатные материалы с развитой макропористой структурой: пеностекло, пенобетон, газобетон, пеносиликат и пористая стеклокерамика и др. [1; 4].

В данной работе приведены результаты исследований по получению и изучению новых составов пористых материалов на основе доступного сырья, такого как натриевое жидкое стекло, доломит, волластонит и кремнезем.

Основная часть

Новые составы пористого материала были получены двумя способами (А и Б):

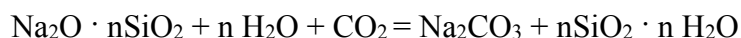
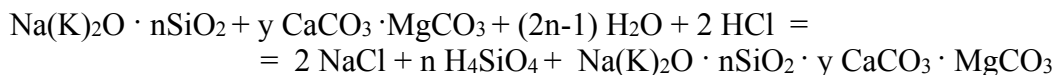
А) Производится отбор необходимого количества сырья – отхода Ангренского кремниевого завода, состоящего в основном (до 80 %) из кремнезема. Далее это сырье смешивается со стандартным натриевым жидким стеклом до получения однородной массы. Затем полученная масса подвергается кислотной обработке (до прекращения процесса выделения газа). После этого в полученную смесь при постоянном перемешивании добавляется органический наполнитель при температуре 400 °С с продолжением нагрева реакционной среды и перемешивания в течение 1 ч. Затем полученная масса заливается в пресс-форму и нагревается до 500 °С в течение 3 ч.

Б) Производится отбор необходимого количества доломитового сырья и его тонкое измельчение. Далее тонко измельченное доломитовое сырье смешивается со стандартным натриевым жидким стеклом. Затем полученная масса подвергается кислотной обработке (до прекращения процесса выделения газа). После этого при постоянном перемешивании добавляется органический наполнитель. Образовавшаяся смесь нагревается до 400 °С в течение 1 ч. После этого полученная масса заливается в пресс-форму и нагревается до 500 °С в течение 3 ч.

Полный процесс получения пористого материала на основе доломитового сырья включает следующие стадии. В трехгорлой колбе с круглым дном, оснащенной механической мешалкой, капельной воронкой и термометром, в течение 40 мин производится смешивание натриевого жидкого стекла (1300–1500 кг/м³) и доломита в соотношении 3:1 по массе. Через капельную воронку, при постоянном перемешивании, капельным способом добавляют 50 мл 15 %-го водного раствора соляной кислоты (HCl). При этом наблюдается газовыделение. После добавления кислоты полученную смесь продолжают смешивать до получения гомогенной смеси. Среда раствора получится слабокислотной (pH = 6,5–7,0). Полученную массу заливают в специальную пресс-форму, покрытую фольгой изнутри. Далее пресс-форму помещают в электрическую печь марки SNOL 8.2/1200 и нагревают до 400 °С в течение 2 ч. Полученную густую клейкую массу охлаждают до комнатной температуры. После полученный продукт измельчают и просеивают ситом Ø160 мм (0,5 мм ячейками) с добавлением 50 г органической добавки. После этого повторно выдерживают в печи при 700 °С для вытеснения остатков газа (до 2 ч). Далее полученный продукт оставляют на открытом воздухе для остывания, т. к. в горячем виде продукт имеет свойство адсорбировать влагу. После охлаждения продукт просушивают в сушильном шкафу марки СШ-80-01-СПУ при температуре 100 °С в течение 5 ч. В результате получается продукт серого цвета с высокой пористостью (рис. 1 и 2). Выход продукта 61 % (430 г).

Полученный продукт не растворяется в воде и в полярных растворителях, но хорошо поглощает их и не набухает.

Ниже приведены уравнения основных химических процессов синтеза.



Условия проведения и результаты опытов обобщены и приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Условия проведения и результаты синтеза новых пористых материалов

Номер образца	Температура реакции, °С (до/после)	Массовое соотношение исходных реагентов	Вид продукта	Среда, рН	Выход реакции, %	Цвет продукта	
1	200/300	Жс*: Д*:HCl	3:3:1	Порошковый	7,0–7,5	85	Белый
			3:2:1	Порошковый	6,0–6,5	85	Светло-серый
			3:1:0,5	Плиточный	6,0–6,5	51	Серый
2	300/500	Жс:Д:HCl	3:1:0,5	Плиточный	6,0–6,5	55	Серый
	400/700		3:1:0,5	Плиточный	6,0–6,5	65	Серый
	500/900		3:1:0,5	Плиточный	6,0–6,5	65	Серый
3	400/700	Жс:мел:HCl	3:1:0,5	Плиточный	7,0	79	Белый

*Жс – жидкое стекло.

*Д – доломит.

Образец материала 2 (табл. 1) с относительно лучшими показателями пористости получен при температуре реакции 400/700 °С и соотношении компонентов Жс:Д:HCl (3:1:0,5).

Несмотря на хорошую пористость полученного материала (рис. 1–2) новый теплоизоляционный материал не тонет в воде и имеет плотность ниже 1 г/см³. Полученный материал является экологически чистым в отличие от широко используемых в настоящее время теплоизоляционных материалов.



Рисунок 1. – Внешний вид нового пористого материала, образец 2 (масштаб 1:1)



Рисунок 2. – Ультралегкий пористый материал, образец 3

Согласно ШНК 2.01.02-04 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»³ строительные материалы характеризуются только пожарной опасностью. Пожарная опасность строительных материалов определяется следующими пожарно-техническими характери-

³ Пожарная безопасность зданий и сооружений: ШНК 2.01.02-04. – Взамен СНиП 2.01.02-85; принят 28.12.2004; вступ. в силу 01.02.2005 / Приказ Государственного комитета Республики Узбекистан по архитектуре и строительству. – Ташкент: Госархитектстрой, 2004. – 31 с.

ками: горючестью, воспламеняемостью, распространением пламени по поверхности, дымообразующей способностью и токсичностью. Исходя из этого, на следующем этапе исследований для всех образцов полученных пористых материалов определены значения основных пожарно-технических характеристик – горючести и коэффициента дымообразования.

Для определения горючести полученных образцов материалов проведены испытания на установке «Трубчатая печь ИСО». Для испытаний подготовлены образцы размерами 50×45×45 мм. Условия проведения (время, температура внутри печи и др.) а также результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты испытаний на установке «Трубчатая печь ИСО» образцов новых материалов

Номер образца	Температура печи, °С	Разница внешних и внутренних температур образца, °С	Время достижения максимальной температуры, мин	Масса образца, г		Потеря массы, %
				до испытаний	после испытаний	
1	750 ± 2 °С	30	30	50,3	40,7	19,08
2		31	30	51,4	41,9	18,48
3		29	30	50,0	40,9	18,20

Испытания проводились на всех трех полученных образцах. Разница температур внешних и внутренних сторон образцов составила 30 °С, среднее значение потери массы – 18,59 %. Исходя из полученных результатов, материал относится к группе негорючих.

Далее проведены испытания по определению коэффициента дымообразования по ГОСТ 12.1.044-89. Для испытаний подготовлены 3 образца (1–3, табл. 1) с размерами 40×40×5 мм. Условия проведения испытаний (время, температура внутри печи и др.), а также результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты испытаний по определению коэффициента дымообразования образцов новых материалов

Номер образца	Масса образца m , г	Светопропускание, %		Продолжительность дымообразования, мин	Коэффициент дымообразования D_m , м ² /кг
		начальное T_0	конечное T_{min}		
1	22,955	4,25	4,18	50	0,4630
2	23,056	4,25	4,17	50	0,5274
3	23,122	4,25	4,18	50	0,4596

Значение коэффициента дымообразования D_m , м²/кг вычисляется по формуле:

$$D_m = \frac{V}{Lm} \ln \frac{T_0}{T_{min}},$$

где V – внутренний объем устройства (0,512 м³); L – путь, пройденный лучом света в задымленной среде (0,8 м); m – масса образца, кг; T_0 , T_{min} – значения начального и конечного светопропускания, %.

Согласно ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов»⁴ ($D_m^{(1)} = 0,4630$ м²/кг, $D_m^{(2)} = 0,5274$ м²/кг, $D_m^{(3)} = 0,4546$ м²/кг) все полученные образцы пористых материалов относятся к группе с малой дымообразующей способностью.

⁴ Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84); введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – С. 6.

Заключение

Результаты проведенных исследований позволили определить условия получения пористых материалов на основе минерала доломита, стандартного натриевого жидкого стекла и минеральных кислот в результате химического взаимодействия между основными минеральными компонентами исходного сырья.

Исследования пожарно-технических характеристик полученных пористых материалов, таких как горючесть и коэффициент дымообразования, доказали соответствие этих материалов требованиям ГОСТ к строительным материалам. Синтезированные из доступного экономичного сырья макропористые системы представляют собой экологически чистые, пожаробезопасные теплоизоляционные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горелик, П.И. Современные теплоизоляционные материалы и особенности их применения / П.И. Горелик, Ю.С. Золотова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 3 (18). – С. 93–103.
2. Энергоэффективность зданий. Трансформация рынка [Электронный ресурс]: отчет о проекте «Энергоэффективность зданий» (заключ.) / Всемирный совет предпринимателей по устойчивому развитию; директор проекта Кристиан Корневал. – WBCSD, 2009 – 70 с. – ISBN: 978-3-940388-44-5. – Режим доступа: <http://docs.wbcsd.org/2009/08/RU-EEB-TransformingTheMarket.pdf>. – Дата доступа: 19.03.2020.
3. Чэнь Лина. Современные энергоэффективные здания / Лина Чэнь, Т.П. Билюшова // Вологодские чтения: строительство и архитектура. – 2012. – № 80. – С. 80–81.
4. Мальцев, А.В. Энергосберегающие ограждающие конструкции с использованием местных материалов при варьируемых параметрах тепломассопереноса: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А.В. Мальцев. – Пенза, 2014. – 169 л.
5. Гагарин, В.Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий / В.Г. Гагарин // Строительные материалы. – 2008. – № 8. – С. 41–47.
6. Самарин, О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность: монография / О.Д. Самарин. – Москва: МГСУ: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 292 с.
7. Гагарин, В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий / В.Г. Гагарин // Строительные материалы. – 2010. – № 3. – С. 8–16.
8. Пшинько, А.Н. Перспективы создания модифицированного теплоизоляционного неорганического материала на основе алюмосиликатного сырья / А.Н. Пшинько [и др.] // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2009. – № 26. – С. 127–129.

Синтез новых негорючих теплозащитных материалов и исследование их свойств
Synthesis of new noncombustible heat protective materials and research of their properties

Джурраев Собир Мирзаевич

Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан, начальник института

Адрес: ул. Ш. Рашидова, 17,
100017, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: jalolziyo@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3200-8539

Sobir M. Dzhuraev

Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry of Emergencies of the Republic of Uzbekistan, Head of Institute

Address: Sh. Rashidov st., 17,
100017, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: jalolziyo@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3200-8539

Курбанбаев Шухрат Эргашевич

доктор технических наук,
старший научный сотрудник

Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан, центр научно-исследовательской работы, начальник центра

Адрес: ул. Ш. Рашидова, 17,
100017, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: kurbanbaevs@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0869-6271

Shukhrat E. Kurbanbaev

Grand PhD in Technical Sciences,
Senior Researcher

Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry of Emergencies of the Republic of Uzbekistan, Center for Scientific and Research Work, Head of Center

Address: Sh. Rashidov st., 17,
100017, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: kurbanbaevs@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0869-6271

Нурмухаммадов

Жалолiddин Шермухаммад угли

доктор химических наук,
старший научный сотрудник

Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан, научно-исследовательской отдел, начальник отдела

Адрес: ул. Ш. Рашидова, 17,
100017, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: Jaloliddiniivexi@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7841-6474

Jaloliddin Sh. Nurmukhammadov

Grand PhD in Chemical Sciences,
Senior Researcher

Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry of Emergencies of the Republic of Uzbekistan, Scientific and Research Department, Head of the Department

Address: Sh. Rashidov st., 17,
100017, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: Jaloliddiniivexi@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7841-6474

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-2.123>

SYNTHESIS OF NEW NONCOMBUSTIBLE HEAT PROTECTIVE MATERIALS AND RESEARCH OF THEIR PROPERTIES

Dzhuraev S.M., Kurbanbaev Sh.E. Nurmukhammadov J.Sh.

Purpose. Development of new fire-resistant heat-shielding materials in order to increase energy efficiency and fire safety of buildings and structures.

Findings. Based on the chemical processes between the main components, such as dolomite and wollastonite minerals, standard sodium liquid glass and mineral acids, as well as the addition of organic fillers, new porous compositions were obtained. A technology has been developed to produce a new porous tile material. Studies of some fire-technical characteristics of the materials obtained showed that the new material is non-combustible.

Application field of research. The research results presented are obtained in the field of synthesizing new porous materials and can be used in the field of increasing fire and thermal protection of building structures and materials.

Keywords: heat insulation, heat-shielding materials, sodium liquid glass, dolomite, wollastonite, mineral acid, organic fillers, porous material, combustibility, smoke formation.

(The date of submitting: March 19, 2020)

REFERENCES

1. Gorelik P.I., Zolotova Yu.S. Sovremennyye teploizolyatsionnyye materialy i osobennosti ikh primeneniya [Modern thermal insulation materials and some features of their application]. *Construction of unique buildings and structures*, 2014. No. 3 (18). Pp. 93-103. (rus)
2. *Energy efficiency of buildings. Market transformation: final report on the project «Energy Efficiency of Buildings»*. World Business Council for Sustainable Development, August 2009. 70 p. ISBN: 978-3-940388-44-5, available at: <http://docs.wbcsd.org/2009/08/EEB-TransformingTheMarket.pdf> (accessed: March 19, 2020).
3. Chen Lina, Bilyushova T.P. Sovremennyye energoeffektivnyye zdaniya [Modern energy efficient buildings]. *Vologdinskiye chteniya: construction and architecture*, 2012. No. 80. Pp. 80–81. (rus)
4. Mal'tsev A.V. *Energoberegayushchie ograzhdayushchie konstruksii s ispol'zovaniem mestnykh materialov pri var'iruemykh parametrah teplomassoperenosa* [Energy-saving building envelopes using local materials with variable heat and mass transfer parameters]: PhD tech. sci. diss: 05.23.01. Penza, 2014. 169 p. (rus)
5. Gagarin V.G. Ekonomicheskiy analiz povysheniya urovnya teplozashchity ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy [Economic analysis of increasing the level of thermal protection of building envelopes]. *Stroitel'nye materialy*, 2008. No. 8. Pp. 41–47. (rus)
6. Samarin O.D. *Teplofizika. Energoberezhenie. Energoeffektivnost'* [Thermophysics. Energy saving. Energy efficiency]: monograph. Moscow: MGSU, 2009. 292 p. (rus)
7. Gagarin V.G. Makroekonomicheskie aspekty obosnovaniya energoberegayushchikh meropriyatiy pri povyshenii teplozashchity ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy [Macroeconomic aspects of the rationale for energy-saving measures while increasing the thermal protection of building envelopes]. *Stroitel'nye materialy*, 2010. No. 3. Pp. 8-16. (rus)
8. Pshin'ko A.N., Krasnyuk A.V., Grebennikov V.N., Shcherbak A.S. Perspektivy sozdaniya modifitsirovannogo teploizolyatsionnogo neorganicheskogo materiala na osnove alyumosilikatnogo syr'ya [Prospects for creating a modified heat-insulating inorganic material based on aluminosilicate raw materials]. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2009. No.26. Pp. 127-129. (rus)