

*V.E. Vaganov, V.D. Zakharov, V.D. Blank // NANO-2011: IV Russian conference of the nanomaterials, 01-04 march 2011: abstracts of reports. – Moscow, 2011. – P. 467. (in Russian). 5. Voronova A.E. Issledovanie uprugih i mikrostrukturnykh harakteristik kompozitov medi s nanouglerodom metodom lazerno-ultrazvukovoi defektoskopii (Investigated resilient and microstructure characteristics copper composites with nanocarbon by method of laser-ultrasonic fault detection) / A.E. Voronova, V.M. Prohorov // Session of scientists council of the acoustics and XXIV session of Russian acoustics society, 12-15 sept. 2011 y.: transaction. – Moscow, 2011. – P. 73 – 76. (in Russian). 6. Baran L.V. Osobennosti formirovaniya strukturno-fazovogo sostoyaniya med'soderzhashih fullerenovyyh plenok (Peculiar properties of formation of phases- structure state fullerene films with cooper) / L.V. Baran / Nanostructure matherialscience. – 2011. – № 1. – P. 50 – 62. (in Russian). 7. Nefedov V.G. Svoistva kompozitsionnogo elektroliticheskogo pokrytiya na osnove Ni s uglerodnym nanomaterialom (Properties of composition electrolytic planted on the foundation Ni with carbon nanomaterials) / [V.G. Nefedov, D.G. Korolyanchuk, V.D. Zakharov et all.] // Physics and chemistry processing of materials, 2012. – № 1. – P. 18 – 25. (in Russian).*

*Поступила (Received) 08.06.15*

УДК 678.652,:66.022.32

**Е.Ю. КРЮЧКОВА**, асп., ВНУ им. В. Даля, Северодонецк,  
**Т.Э. РЫМАР**, канд. техн. наук, доц., ВНУ им. В. Даля, Северодонецк

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРОВАННОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА И РАЗЛИЧНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ**

В данной работе изучены физико-механические свойства гранулированного теплоизоляционного материала, полученного пропусканием жидкостекольной композиции через фильеру и последующим термовспучиванием полученных гранул в лабораторной СВЧ-установке. Жидкостекольная композиция состоит из жидкого натриевого стекла и неорганического минерального наполнителя различного типа и количества в исходной смеси. Определено влияние вида и количества применяемого наполнителя на следующие свойства гранул: кажущуюся, истинную и насыпную плотность, сорбционную влажность и водопоглощение. Определены оптимальные тип и содержание минерального наполнителя для получения гранулированного материала с высокими физико-механическими показателями.

**Ключевые слова:** теплоизоляция, негорючесть, жидкое стекло, вспучивание, минеральный наполнитель, плотность.

**Введение.** В последние десятилетия растет интерес к возможности замены органополимерных утеплителей неорганическими пеноматериалами, сочетающими низкую теплопроводность с термостойкостью и негорючестью. Теплоизоляционные материалы на основе жидкого стекла занимают особое

© Е.Ю. Крючкова, Т.Э. Рымар, 2015

место среди традиционных способов теплоизоляции жилых и производственных зданий ввиду своей практически абсолютной негорючести и высокой биостойкости. Не смотря на свою высокую стоимость, данный материал все больше приобретает популярность на рынке теплоизоляции.

**Математическая модель.** Гранулированный материал получают пропуская жидкостекольной композиции, через фильерную пластину с диаметром отверстий 1 мм, выдержкой гранул в отверждающем растворе, с последующей сушкой гранул на воздухе и вспучиванием в СВЧ-установке.

Жидкостекольные композиции (ЖСК) получают при смешивании жидкого натриевого стекла с целевыми добавками, которые по действию, оказываемом на жидкое стекло и получаемый материал можно разделить на несколько групп:

1. Инертные по отношению к жидкому стеклу, выполняющие роль каркасообразующего наполнителя в готовом изделии;
2. Гелеобразующие – вызывают реакцию гелеобразования жидкого стекла, разрушая, таким образом, его полимерную структуру;
3. Термореактивные добавки, которые не взаимодействуют с жидким стеклом, и при нагревании разлагаются, выделяя газообразные продукты [1].

Влияние добавок первой группы зависит от природы вещества и его дисперсности. Пока добавка корректно входит в состав ЖСК, не разрушая ее коллоидной структуры, она будет оказывать действие, упорядочивающее макроструктуру вспученного теплоизоляционного материала и повышать физико-механические показатели изделия. Когда объемное содержание добавки превысит предельное для данного вещества значение, жидкое стекло коагулирует с выделением воды и образованием кремнегеля, что отрицательно сказывается на способности ЖСК к вспучиванию. К таким добавкам относятся тонкодисперсный кварцевый песок, трепел, диатомит, дегидратированный бурый железняк ( $Fe_2O_3$ ),  $MgO$ ,  $CuO$ .

Гелеобразующие вещества второй группы вводятся в состав ЖСК с целью быстрого увеличения вязкости ЖСК и повышения технологичности процесса - полученный гель проще гранулировать и заключать в формы. Однако, при значительном содержании гелеобразователя происходит разрушение полимерной структуры жидкого стекла и его поризационная способность уменьшается, соответственно увеличивается плотность изделий, снижаются их теплоизоляционные характеристики. Таким образом, такие добавки необходимо вводить в небольшом, строго дозированном количестве [1].

Количество наполнителя подбирается таким образом, чтобы придать системе вязкость, необходимую для свободного ее пропускания через фильтровую пластину определенного диаметра. В качестве неорганических наполнителей были выбраны каолин, доломитовая мука, окись железа (3), оксид цинка, карбонат кальция (мел).

Далее представлено влияние применяемых наполнителей на свойства гранулированного материала.

Зависимость кажущейся и истинной плотностей от вида и количества наполнителя приведена на рис. 1.

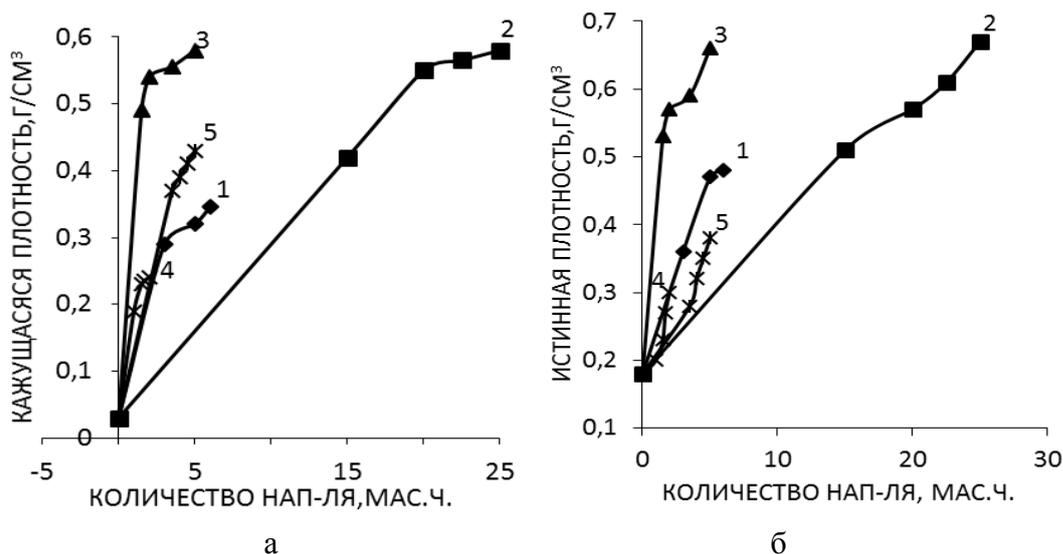


Рис. 1 – Влияние вида и количества наполнителя на кажущуюся (а) и истинную (б) плотности гранулированного материала: 1 – каолин, 2 – доломитовая мука, 3 – оксид железа (3); 4 – оксид цинка, 5 – мел.

Наименьшая кажущаяся и истинная плотности у гранулированного материала, для изготовления которого использовались наполнители каолин и оксид цинка. Кажущаяся плотность материала с каолином возрастает с 0,29 до 0,36 г/см<sup>3</sup>, при введении от 5 до 12 масс. ч наполнителя соответственно, т.к. каолин имеет наименьший удельный вес (всего 2,2 г/см<sup>3</sup>). Кажущаяся плотность материала с оксидом цинка возрастает с 0,19 до 0,24 г/см<sup>3</sup>, при введении наполнителя от 1 до 2 масс. ч соответственно, т.к. оксида цинка вводится наименьшее количество для предотвращения резкого возрастания вязкости композиции.

Самые низкие показатели истинной плотности, как видно из рис. 1, у гранул с содержанием оксида цинка (0,2 – 0,3 г/см<sup>3</sup>). Полученные показатели истинной плотности для данного типа материала говорят о большом количе-

стве пустот и пор в структуре материала гранулы и невысоком содержании твердой фазы.

Наибольшими показателями кажущейся плотности обладают гранулы с оксидом железа. Их плотность варьируется в пределах с 0,49 до 0,58 г/см<sup>3</sup>, т.к. оксид железа имеет наибольший удельный вес (5,242 г/см<sup>3</sup>). Самыми высокими показателями истинной плотности обладает материал на основе жидкого стекла и доломитовой муки, а также жидкого стекла и оксида железа. Их плотность возрастает с 0,51 до 0,67 г/см<sup>3</sup> и с 0,53 до 0,66 г/см<sup>3</sup> для доломита и оксида железа соответственно. Это можно объяснить высоким содержанием доломитовой муки в жидкостекольной композиции (15 – 25 масс. ч.) и высоким удельным весом при использовании оксида железа.

Зависимость насыпной плотности гранулированного материала от вида и количества наполнителя показана на рис. 2.

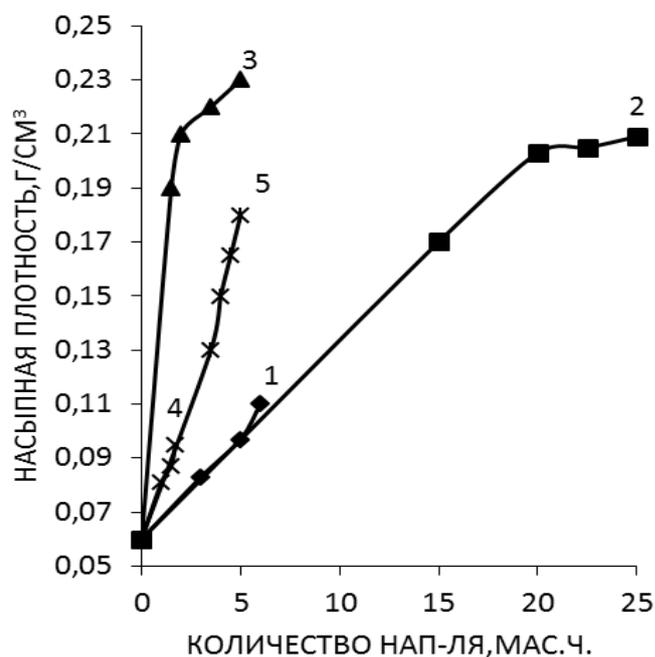


Рис. 2 – Зависимость насыпной плотности от вида и количества наполнителя: 1 – каолин, 2 – доломитовая мука, 3 – оксид железа (3); 4 – оксид цинка, 5 – мел.

Наименьшими показателями насыпной плотности характеризуются образцы гранул с содержанием каолина (с увеличением содержания наполнителя в композиции плотность увеличивается с 0,083 до 0,119 г/см<sup>3</sup>) и оксида цинка (с увеличением содержания наполнителя в композиции плотность увеличивается с 0,081 до 0,109 г/см<sup>3</sup>). Такие низкие показатели насыпной плотности свидетельствуют о большом объеме вспученных гранул, а, значит, и высокой поризационной способности жидкостекольных композиций с со-

держанием каолина и оксида цинка. Также материал с низкой насыпной плотностью характеризуется низкой влажностью (так как частицы не слипаются между собой) и минимально склонен к агломерации.

Зависимость сорбционной влажности (гигроскопичности) и водопоглощения гранулированного материала от вида и количества наполнителя показана на рис. 3.

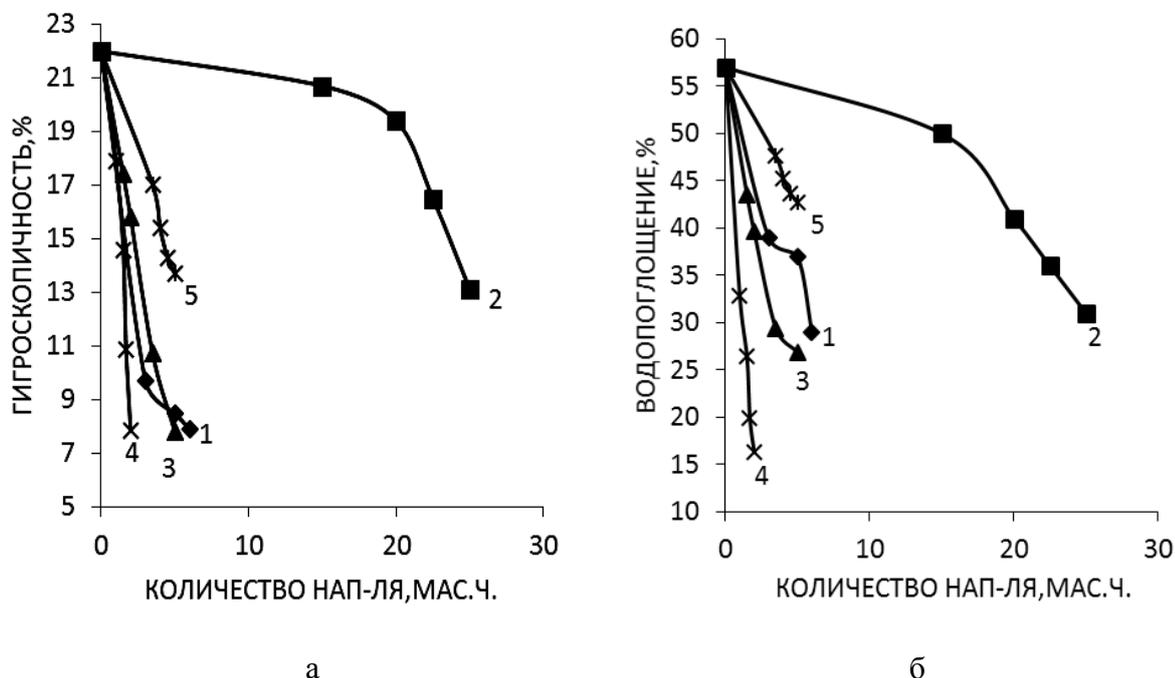


Рис. 3 – Зависимость гигроскопичности (а) и водопоглощения (б) от вида и количества наполнителя: 1 – каолин, 2 – доломитовая мука, 3 – оксид железа (3); 4 – оксид цинка, 5 – мел.

Как видно из графиков, для всех типов наполнителей наблюдается падение гигроскопичности с увеличением их содержания в жидкостекольной композиции. Наименьшими показателями сорбционной влажности обладают гранулы с наполнителями каолин и оксид цинка. Для материала, содержащего каолин, при увеличении его количества в композиции гигроскопичность вспученных гранул падает с 9,7 до 7,5 %. Данный тип минерального наполнителя придает вспученным гранулам прочную внешнюю корочку, которая препятствует поглощению паров воды из окружающей среды, при этом гранулы обладают низкой плотностью. Каолин является глинистым материалом, и его фактическая гигроскопичность составляет всего 2 – 4 %, при этом он придает достаточно высокую прочность высушенному полуфабрикату, а значит, и вспученному готовому материалу. Гранулы с содержанием оксида цинка обладают имеют аналогичные значения сорбционной влажности, как и

в случае каолина, однако они придают гранулам большую водостойкость. Известно, что оксид цинка применяется в качестве водоупрочняющей добавки в производстве щелочносиликатных пеноматериалов горячего вспенивания. Данное свойство оксида цинка связано со способностью атома Zn замещать атомы кремния в кремнекислородных тетраэдрах, составляющих основу структуры жидкого стекла. При этом образуются кислотные центры с присоединенными двумя катионами натрия. Комплексы «кислотный центр – катион натрия» ведут себя подобно нерастворимой в воде натриевой соли сильной кислоты, в отличие от силикатного такой натрий не способен к гидролитическому выщелачиванию водой, что резко повышает водостойкость материала [2].

Исходя из данных рис. 3, можно сделать вывод о том, что как и в случае гигроскопичности, самыми низкими показателями водопоглощения обладают гранулы с содержанием каолина (водопоглощение составляет 39 – 27%) и оксида цинка (32,8 – 16,3 %). Поэтому в данных типах материала преобладает закрытопористая структура.

### **Выводы.**

На основании полученных данных можно сделать вывод, что оксид цинка является наиболее приемлемым наполнителем при получении вспученного гранулированного материала на основе жидкого стекла.

При анализе данных графиков, было установлено, что оптимальными рецептурами композиций являются рецептуры с промежуточным содержанием минерального наполнителя, так как при самых низких их содержаниях вспученный материал имеет низкую плотность в сочетании с низкой прочностью и высокими водопоглощением и гигроскопичностью.

Такие гранулы нецелесообразно применять в качестве гранулированного наполнителя для изготовления теплоизоляционных блоков.

При самых больших содержаниях наполнителя полученные гранулы имеют высокую прочность, низкую гигроскопичность и водопоглощение, но и высокую плотность.

Поэтому оптимальным количеством наполнителя является 1,5 масс. ч. оксида цинка.

Такие гранулы сочетают в себе достаточно высокую прочность, малую плотность, гигроскопичность и водопоглощение.

При выборе наполнителя упор делался на плотность материала, так как

главная цель при изготовлении неорганической теплоизоляции – получение легкого прочного материала.

Также оксид цинка более доступен и имеет низкую стоимость по сравнению с каолином.

Полученный материал, содержащий 1,5 масс. ч оксида цинка, имеет следующие свойства: кажущаяся плотность составляет  $0,23 \text{ г/см}^3$ , истинная  $0,23 \text{ г/см}^3$ , насыпная плотность  $0,081 \text{ г/см}^3$ , сорбционная влажность и водопоглощение составляют соответственно 8,5 и 26,4 %.

Исследованный гранулированный вспученный материал может применяться при производстве теплоизоляционных блоков холодного и горячего вспенивания в качестве наполнителя.

**Список литературы:** 1. *Лотов В.А.*, Формирование пористой структуры пеносиликатов на основе жидкостекольных композиций / *В.А. Лотов, В.А. Кутугин* // Стекло и керамика. – 2008. – № 1. – С. 1 – 2. 2. *Малявский Н.И.* Щелочно-силикатные утеплители. Свойства и химические основы производства / *Н. И. Малявский* // Российский химический журнал. – 2003. – № 4. – С. 39 – 45.

**References:** 1. *Lotov V.A.* Formation of a porous structure of foam silicates based on liquid-glass compositions / *V.A. Lotov, V.A. Kutugin* // Glass and ceramics. – 2008. – № 1. – P. 1 – 2. 2. *Maljavskij N.I.* Shhelochno-silikatnye utepliteli. Svoystva i himicheskie osnovy proizvodstva (Alkaline-silicate insulation. Properties and chemical bases of production) / *N.I. Maljavskij* // Rossijskij himicheskij zhurnal. – 2003. – № 4 – P. 39 – 45. (in Russian).

*Поступила (Received) 12.05.15*