

*Вайсера С. С., аспирант,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

КОЭФФИЦИЕНТ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ КАК ПАРАМЕТР ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ ПЕНОСТЕКЛА*

vaisera_sergei@mail.ru

Для реализации современной концепции энергосбережения при строительстве новых зданий и при модернизации уже существующих, теплоизоляционные характеристики используемых материалов должны иметь высокие эксплуатационные свойства. Высокие эксплуатационные свойства теплоизоляционного пеностекла достигаются за счет его низкой плотности и определенной ячеистой структуры. Основные структурные характеристики материала, которые и определяют эксплуатационные свойства материала - это размер и степень открытости пор (число открытых пор ко всему числу пор в материале). Содержание работы изложено в статье в два этапа: первый – исследование влияния различного вида и содержания газообразователей на физико-механические свойства пеностекла, второй – определение влияния степени открытости пор пеностекла на коэффициент воздухопроницаемости.

Ключевые слова: пеностекло, пористость, газообразователь, коэффициент воздухопроницаемости, вспенивание.

Введение. Внешняя оболочка здания, в виде ограждающих конструкций, предназначена для защиты помещения от атмосферных осадков извне и для сохранности тепла внутри. Это достигается с помощью составляющих эту конструкцию теплоизоляционных материалов. А для реализации современной концепции энергосбережения при строительстве новых зданий и при модернизации уже существующих, теплоизоляционные характеристики используемых материалов должны иметь высокие эксплуатационные свойства [1].

Высокие эксплуатационные свойства теплоизоляционного пеностекла достигаются за счет его низкой плотности и определенной ячеистой структуры. Структура зависит от технологических параметров производства: вида сырья, тонины помола, температурно-временных режимов термообработки, то есть факторов, влияющих на формирование структуры. Основные структурные характеристики материала, которые и определяют эксплуатационные свой-

ства материала - это размер и степень открытости пор (число открытых пор ко всему числу пор в материале). Согласно литературным данным средний размер пор теплоизоляционного пеностекла обычно колеблется от 300 до 1500 мкм, что является допустимым, а вот данных о влиянии степени открытости пор на качественные характеристики пеностекла недостаточно, что требует проведения дополнительных исследований. Данная структурная характеристика легко оценивается методом определения коэффициента воздухопроницаемости материала, который является косвенным показателем структуры, характеризующим теплофизические свойства материала [2–5].

Цель данной работы заключалась в определении влияния степени открытости пор пеностекла на коэффициент воздухопроницаемости, а, следовательно, на качественные характеристики пеностекла.

Химический состав используемых сырьевых материалов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав используемых сырьевых материалов

Компонент	Содержание оксидов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	SO ₃
песок	95,32	2,9	0,94	0,13	0,71	–	–	–
мел	0,025	0,2	55	–	0,1	–	–	–
доломит	2,00	0,90	31,0	–	0,08	–	19,50	–
кристаллическая сода	–	–	–	55	–	4,22	–	–
сульфат натрия	–	–	–	43	–	–	–	56
каолин	46,5	36-38	–	–	0,5-1,5	–	–	–

Варку стеклогранулята производили в лабораторных условиях. Помол стеклогранулята осуществляли в вибрационной мельнице периодического действия до удельной поверхности свыше 1000 м²/кг.

Методология. Для получения закрытых (замкнутых) пор в структуре материала в качестве газообразователя, использовали технический углерод, а для открытых пор (сообщающихся) – борсодержащее сырье (колеманит).

Химические и физико-технические свойства используемых газообразователей представлены в табл. 2–4.

Таблица 2

Химический состав технического углерода

Химический состав, %	Значение
Углерод, С	89 – 99
Водород, Н	0,3 – 0,5
Кислород, О	0,1 – 10
Сера, S	0,1 – 1,1
Минеральные вещества	0,5

Таблица 3

Физико-технические свойства технического углерода

Физико-технические свойства	Значение
Плотность, кг/м ³	1800 – 2200
Насыпная плотность, кг/м ³	100 – 400
Размер частиц, мкм	9 – 320
Удельная поверхность, м ² /г	250 – 12
Термостойкость, °С	300
Маслоемкость, г/100г	50 – 135

Таблица 4

Химический и гранулометрический состав колеманита

Колеманит	Содержание компонентов %, мас.											
	В ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	SO ₄	As	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SrO	Na ₂ O	П.п.п.	
Типовое содержание	40.00+/- 0.50	27.00+/- 1.00	4.00- 6.50	0.60 max.	0.0035 max.	0.08 max.	0.40 max.	3.00 max.	1.50 max.	0.35 max.	24.60 max.	
	Содержание фракции											
мкм	от 45-75						свыше 75					
%	87.00+/-5.00						20 +/-5.00					

Основная часть. На первом этапе исследования изучали влияния различного вида и содержания газообразователей на физико-механические свойства пеностекла. Свойства пеностекла изучали методом трехфакторного эксперимента путем получения полных квадра-

тичных зависимостей. В качестве факторов варьирования были приняты содержание технического углерода и колеманита при различных температурах вспенивания. Условия планирования эксперимента представлены в табл. 5.

Таблица 5

Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
Технический углерод, %	x_1	0,1	0,5	1	0,1
Колеманит, %	x_2	0,5	1,5	3	0,5
Температура, (°С)	x_3	740	790	840	25

Параметрами для подбора оптимальных составов были следующие показатели: средняя плотность и водопоглощение, которые были определены по традиционным методикам [2]. Видимая (кажущуюся) пористость материала была определена объемным водопоглощением, которое численно равно объему пор, доступных для заполнения водой [2].

После обработки результатов эксперимента получены математические модели (уравнение регрессии) для каждого значимого фактора эксперимента [6].

Содержание технического углерода и колеманита являются значимыми коэффициентами уравнений регрессии, влияющих на структуру, тогда как температура вспенивания существенного влияния не оказывает. Изменения (смещения) на номограммах практически не наблюдались, в связи с этим было принято решение провести серию экспериментов при постоянной температуре вспенивания 770–790 °С.

Комплексное представление о влиянии различного вида и содержания газообразователей на физико-механические свойства пеностекла

показано на номограммах (рис. 1–3).

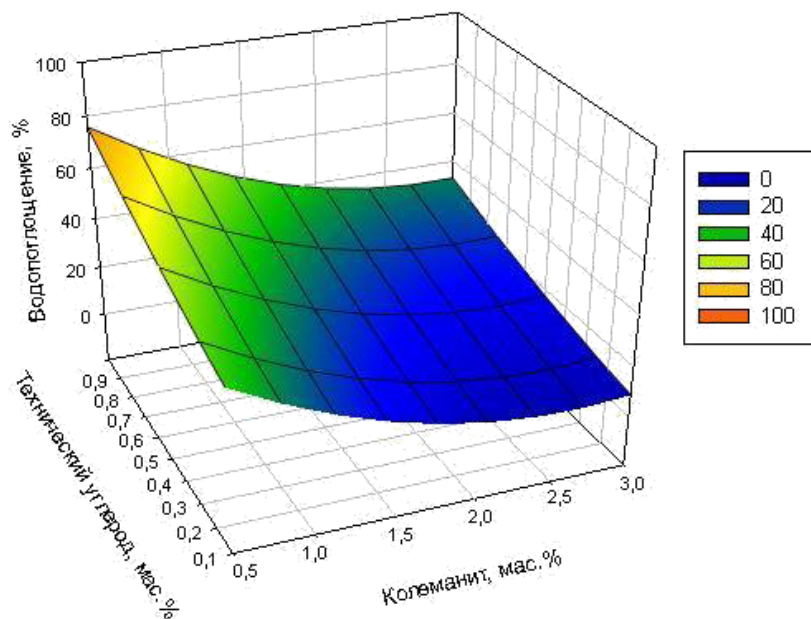


Рис. 1. Зависимость водопоглощения пеностекла от содержания в нем технического углерода и колеманита

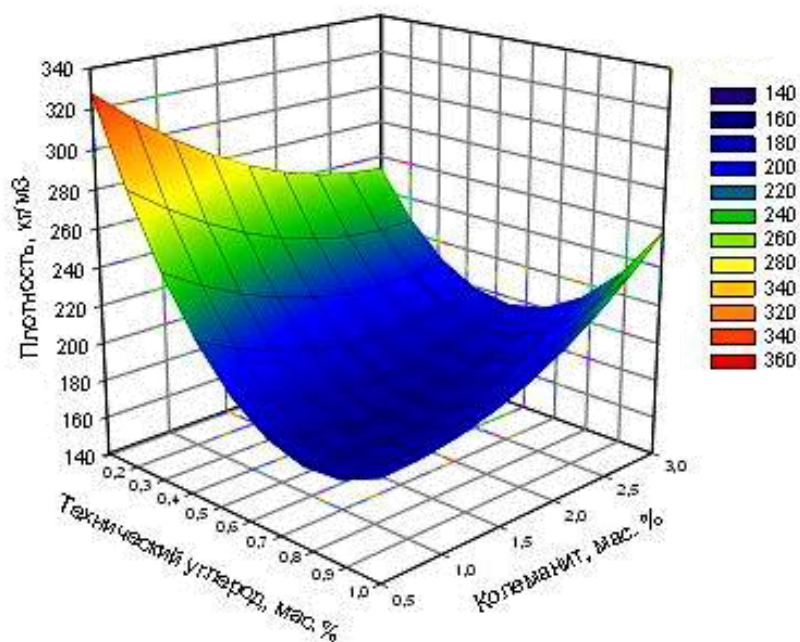


Рис. 2. Зависимость плотности пеностекла от содержания в нем технического углерода и колеманита

Анализ номограмм позволил выявить следующее. Для получения пеностекла со средней плотностью менее 150 кг/м^3 и водопоглощением до 6–8 %, интервал содержания технического углерода должен находиться в пределах 0,6–0,7 % при наличии колеманита не более 1 %. Это объясняется содержанием в колеманите V_2O_3 , выступающего в качестве плавня, действие которого направлено на снижение вязко-

сти стекломассы, а двухвалентные оксиды в составе колеманита уменьшают КТЛР стекломассы, что способствует уменьшению микротрещин, процесс структурообразования происходит более плавно.

При повышении содержания технического углерода в пенообразующей смеси наблюдается неравномерность вспенивая за счет повышенной интенсивности реакции газообразования.

В вариантах с комплексным газообразователем (разное соотношение колеманит: технический углерод), наблюдается образцы материалов пеностекла со средней плотностью 220–240 кг/м³ и водопоглощением в интервале 20–25 %, при содержании колеманита не менее 2,0–2,5 % и технического углерода не более 0,3 %. Химический состав колеманита содержит кроме В₂О₃, большое количество СаО и Н₂О, по этой причине его можно отнести к карбонатным газообразователям, которые не являются стабилизаторами системы «стекло-газ» вследствие химического взаимодействия их со стекломассой при температуре вспенивания, приводит к фор-

мированию пеностекла с открытой пористостью. А повышенное содержание водяных паров в шихте приводит не только к увеличению давления газовой фазы, но и к деполимеризации кремнекислородного каркаса, в результате которой происходит снижение вязкости силикатного расплава.

Следующий этап исследования заключался в определении влияния степени открытости пор пеностекла на коэффициент воздухопроницаемости.

Результаты исследования представлены в табл. 6. и на рис.3.

Таблица 6

Результаты исследования

№ п/п	Средняя плотность, кг/м ³	Водопоглощение объёмное, %	Коэффициент воздухопроницаемости, I [кг/м ч (Па) ⁿ] * 10 ⁻³
1	220	75	17,4
2	230	72	17,0
3	190	35	10,41
4	200	32	10,38
5	235	22	8,18
6	240	24	8,21
7	225	45	12,11
8	260	55	12,96
9	120	7	0,85
10	160	12	2,74
11	190	17	3,99
12	170	11	2,7

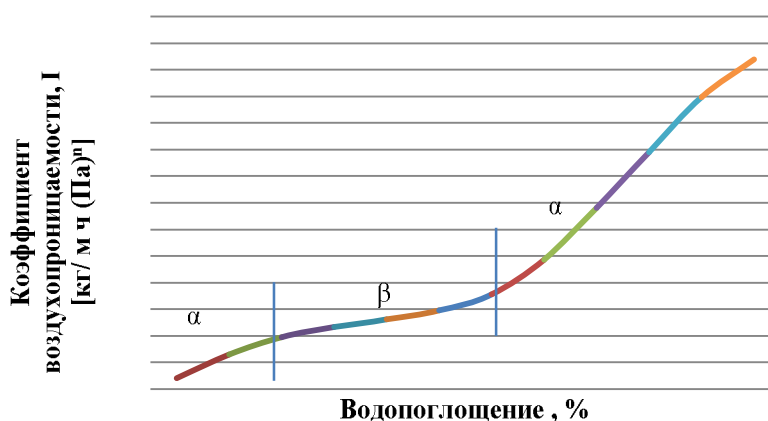


Рис. 3. Зависимость коэффициента воздухопроницаемости пеностекла от его водопоглощения
Вид движения воздуха: α – ламинарное, β – турбулентное

Как и следовало ожидать, что при увеличении степени открытости пор (водопоглощения) в пеностекле коэффициент воздухопроницаемости увеличивается. Это наглядно видно на кривой расхода воздуха из рис.3., участок кривой от начала координат до точки α является прямоли-

нейным, что указывает на ламинарное движение воздуха в порах материала [5]. Это связано с тем, что материал с водопоглощением до 14–16 % имеет одинаковые размеры пор в объеме материала с незначительными микрополостями. За точкой α следует криволинейный участок –

движение в порах переходит от ламинарного к турбулентному (β). Это объясняется тем, что с увеличением водопоглощения пеностекла свыше 16 % наблюдается нарушение равномерности структуры, поры становятся более крупными, они деформируются, образуется большое количество открытых тупиковых пор, которые и являются причиной изменения движения воздуха в порах. Однако при достижении 40 %-го водопоглощения пеностекла, мы можем наблюдать снова переход к ламинарному движению воздуха в порах материала. Этот переход можно объяснить тем, что в структуре материала поры имеют различные размеры, преобладает сообщающийся тип пористости с большим количеством дефектов ячеистой структуры: «контактные дырки» (прорывы) и трещины в межпоровых перегородках.

Выводы. По результатам эксперимента можно заключить, что коэффициент воздухопроницаемости пеностекла зависит от степени открытости пор. Определен максимальный порог допустимого количества водопоглощения пеностекла при сохранении его структурных особенностей, а, следовательно, эксплуатационных характеристик. Таким образом, метод определения коэффициента воздухопроницаемости может стать эффективным инструментом для оценки и прогнозирования качественных пока-

зателей пеностекла.

* Работа выполнена в рамках выполнения НИР молодежного научно-инновационного конкурса «У.М.Н.И.К.» № 922ГУ1/2013 по теме «Разработка технологии теплоизоляционного стеклокомпозита на основе пеностекла».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сапачева Л.В., Горегляд С.Ю. Пеностекло для экологичного строительства в России // Строительные материалы №1. 2015. С. 30–32.
2. Лаукайтис А.А. Воздухопроницаемость ячеистых бетонов низкой плотностью / Строительные материалы №7. 2001. С. 16–18.
3. Минько Н.И., Пучка О.В., Степанова М.Н., Вайсера С.С. Неорганические теплоизоляционные материалы. Научные основы и технология. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. – 263 с.
4. Демидович Б.К. Пеностекло. Минск: Наука и техника, 1975. 248 с.
5. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд.4-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1973. 287 с.
6. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии Л.: «Химия», 1975. 48 с.

Vaysera S.S.

THE COEFFICIENT OF AIR PERMEABILITY AS THE PARAMETER ASSESSMENT STRUCTURES OF FOAM GLASS

For implementation of the modern concept of energy saving at construction of new buildings and at modernization existing, heat-insulating characteristics of the used materials must have high operational properties. High operational properties of a heat-insulating foamglass are reached at the expense of its low density and a certain porous structure. The main structural characteristics of material which predetermine operational properties of material size and degree of openness of the pores (open pores to the whole number of pores in the material). The content of the work described in the article in two stages: the first – research influence of different types and contents of agents on physico-mechanical properties of foam glass, the second – definition influence of degree openness of the pores foamglass on the coefficient of air permeability.

Key words: foam glass, porosity, gas-forming agent, the coefficient of air permeability, foaming.

Вайсера Сергей Сергеевич, аспирант кафедры стандартизации и управления качеством. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46
E-mail: vaisera_sergei@mail.ru