

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И СВОЙСТВ ТВЕРДОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЛЁГКИХ БЕТОНОВ

Холдаева М.И., Задворный Я.И., Творогов А.В., Худик Н.Н. *(Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина)*

Приведені результати досліджень структурних параметрів полістиролбетону та їх взаємозв'язку із теплопровідністю. Визначено вплив об'ємного вмісту і розподілу в матеріалі твердої складової на теплопровідність полістиролбетону.

Повышение нормативных требований к проектированию теплозащиты зданий стимулирует широкое применение в строительстве ячеистых бетонов.

Теплоизолирующие свойства лёгкого бетона определяются, в первую очередь, плотностью (общей пористостью) материала. Известно, что даже при одинаковой плотности теплопроводность лёгкого бетона может изменяться в пределах 25 - 30 %. В соответствии с современными представлениями основным проводником теплоты в пористых материалах является твёрдая составляющая, которая количественно характеризуется такими параметрами, как объёмное содержание её в материале, длина, толщина и распределение по размерам межпоровых перегородок, их преимущественная ориентация и степень однородности распределения в пространстве.

В результате сравнительных измерений теплопроводности ячеистых материалов при атмосферном давлении и в вакууме, установлено, снижение теплопроводности опытных образцов в вакууме на 15 % по сравнению с теплопроводностью в обычных условиях, связанное с устранением теплопередачи через газовые ячейки. Это явилось подтверждением того, что основная часть (около 85%) теплового потока передается по твердой компоненте – межпоровым перегородкам.

Задачей исследования является, анализ влияния структурных элементов, в частности количества и характера распределения твердой составляющей лёгкого бетона, на его теплопроводность.

Теоретическое исследование процесса переноса целесообразно проводить на идеализированной модели структуры, которая должна отражать основные геометрические свойства реальной системы. Пористую структуру реального полистиролбетона можно смоделировать набором нетеплопроводных сферических ячеек гексагональной упаковки в плотной теплопроводной матрице. Структура межпоровых перегородок представлена зернистой укладкой теплопроводящих частиц, хаотически расположенных в нетеплопроводной газовой среде. Характер распределения линий тока тепла в каждой из этих структур принципиально отличается.

В соответствии с принятой моделью макроструктуры полистиролбетона как двухфазной (перегородки – ячеистые поры сферической формы) системы, исследовано формирование и распространение теплового потока в физических модельных средах. Материалом моделей служили гипс, эпоксидная смола и вспененные гранулы полистирола.

Отверстия различного диаметра, имитирующие ячеистые поры, были выполнены в гипсовых образцах-пластинах квадратного сечения. При одинаковом соотношении твердой и газовой фазы в сечении образца изменялось количество отверстий и расстояние между ними. Теплопроводность определялась методом кратковременного теплового импульса. Установлено снижение теплопроводности при уменьшении толщины перегородок и увеличении их количества.

Влияние характера распределения твердой составляющей в объеме материала на теплопроводность изучалось на гипсовых моделях с калиброванными полистирольными

гранулами размером 4 и 2 мм, имитирующими газовой ячейки. Общее объемное содержание полистирола во всех образцах (псевдоячеистая пористость) – 50%, соответственно содержание твердой составляющей в каждом образце также было одинаковым и составляло 50%. Изменение распределения твердой части (гипсовой матрицы) в материале и связанное с ним изменение толщины межпоровых перегородок обеспечено за счет варьирования размеров гранул.

Первый образец содержал только гранулы диаметром 4 мм, второй – гранулы 2 мм и третий – смесь гранул в соотношении 1/3 : 2/3 по объему. Теплопроводность образца, наполненного гранулами размером 4 мм, оказалась самой высокой ($\lambda=0,877$ Вт/м*К), поскольку межпоровые перегородки в этом случае имеют наибольшую толщину.

Толщина межпоровых перегородок в образце, наполненном гранулами диаметром 2 мм, значительно меньше и, соответственно, теплопроводность образца ниже ($\lambda=0,815$ Вт/м*К). Наиболее плотная укладка полистирольных гранул имеет место в третьем образце. Наименьшая теплопроводность этого образца объясняется тем, что толщина межпоровых перегородок при такой упаковке минимальна.

Проведенные исследования на модельных системах подтвердили предположение о преимущественном влиянии характера распределения твердой части в лёгком материале на теплопроводность

Влияние структурных параметров на теплопроводность реального полистиролбетона средней плотностью 600 кг/м^3 исследовалось на образцах, изготовленных по стандартному трехуровневому плану типа В₃ изменялись количество и гранулометрический состав наполнителя – микросфер, а также количество воздухововлекающей добавки при постоянном расходе пластификатора (0,15% от массы цемента). Объемное содержание полистиролполистирольного заполнителя принято 0,87. Изготовлены 15 опытных образцов плотностью 500 – 700 кг/м^3 .

Исходя из предположения, что теплозащитные свойства полистиролбетона зависят не только от свойств и общего количества твердой составляющей, но и от характера ее распределения в объеме материала, в качестве структурных элементов полистиролбетона приняты: полистирольный заполнитель; микросферный наполнитель; воздушные поры, образованные за счёт вовлечения воздуха при введении микросфер и воздухововлекающей добавки, которые можно рассматривать как заполнитель с нулевой плотностью; капилляры и микротрещины различной природы (микропоры); собственно твёрдую часть межпоровых перегородок (матрицу); цементный камень.

Разделение материала на структурные элементы выполняют следующим образом. В общем объёме полистиролбетонного образца V выделяются: объём твердой части $V_{\text{ТВ}}$, объём занимаемый микросферами $V_{\text{МКС}}$, объём занимаемый полистиролполистиролом $V_{\text{ППС}}$, объём микропор $V_{\text{МП}}$ и объём воздушных пор $V_{\text{ВП}}$.

$$V = V_{\text{ППС}} + V_{\text{МКС}} + V_{\text{РЧ}}, \quad (1)$$

причём объём растворной части $V_{\text{РЧ}} = V_{\text{ТВ}} + V_{\text{МП}} + V_{\text{ВП}}$ (2)

Объём межпоровых перегородок $V_{\text{пер}}$ состоит из твердой части $V_{\text{ТВ}}$ и микропор $V_{\text{МП}}$, содержащихся в перегородках

$$V_{\text{пер}} = V_{\text{ТВ}} + V_{\text{МП}}, \quad (3)$$

причём предполагается, что объёмное соотношение твердой составляющей и микропористости в затвердевшем растворе такое же, как и в межпоровых перегородках полистиролбетона.

В качестве параметра, характеризующего количество того или иного структурного элемента в материале, принята относительная величина – объемное содержание структурного элемента в общем объеме образца (объемная доля–Р). Объёмы, занимаемые полистиролпластовым заполнителем и микросферами, рассчитаны на основании предварительных экспериментов по определению пустотности слоя гранул и микросфер.

Истинный (абсолютный) объём полистирола $V_{\text{ист ппс}}$ определяется как:

$$V_{\text{ист ппс}} = V_{\text{ппс}} \times (1 - K_{\text{ппс}}) \quad (4)$$

где, $K_{ппс}$ – коэффициент пустотности, определяемый экспериментально, ($K_{ппс} = 0,43$).

Объёмная доля содержания полистирола $P_{ппс}$ определяется как:

$$P_{ппс} = V_{ист\ ппс} / V \quad (5)$$

Истинный объём микросфер $V_{ист\ мкс}$ определяется как:

$$V_{ист\ мкс} = V_{мкс} \times (1 - K_{мкс}) \quad (6)$$

где, $K_{мкс}$ – коэффициент пустотности, ($K_{мкс} = 0,43$).

Объёмная доля содержания микросфер $P_{мкс}$ определяется как:

$$P_{мкс} = V_{ист\ мкс} / V \quad (7)$$

Объём растворной части $V_{рч}$ рассматривается как разность объёма образца V и суммы объёмов полистирольного заполнителя $V_{ппс}$ и микросфер $V_{мкс}$.

$$V_{рч} = V - (V_{ппс} + V_{мкс}) \quad (8)$$

Объёмное содержание растворной части $P_{рч}$ определяется как:

$$P_{рч} = V_{рч} / V \quad (9)$$

Объём воздушных пор $V_{вп}$ определяется как:

$$V_{вп} = V_{рч} \times K_{вви} \quad (10)$$

где $K_{вви}$ – суммарный коэффициент воздухововлечения i -того образца за счёт введения наполнителя - микросфер и воздухововлекающей добавки,

$$K_{вви} = K_{вви1} + K_{вви2};$$

$K_{вви1}$ – коэффициент воздухововлечения i -того образца за счёт введения наполнителя - микросфер, определяемый экспериментально;

$K_{вви2}$ – коэффициент воздухововлечения i -того образца за счёт введения воздухововлекающей добавки, определяемый экспериментально.

Объёмная доля воздушных пор $P_{вп}$ определяется как:

$$P_{вп} = V_{вп} / V \quad (11)$$

Объём межпоровых перегородок $V_{пер}$ определяется как:

$$V_{пер} = V_{рч} / (1 + K_{вви}) \quad (12)$$

Объёмное содержание межпоровых перегородок $P_{пер}$ определяется как:

$$P_{пер} = V_{пер} / V \quad (13)$$

Объём твёрдой части $V_{тв}$ определяется как:

$$V_{тв} = m_{тв} / \rho_{тв} \quad (14)$$

где, $\rho_{тв}$ – плотность твердой части ($2,55 \text{ кг/м}^3$); $m_{тв}$ – масса твёрдой части:

$$m_{тв} = m_{обр} - m_{ппс} - m_{мкс} \quad (15)$$

где, $m_{обр}$ – масса образца; $m_{ппс}$ – масса полистиролполистирольных гранул; $m_{мкс}$ – масса микросфер.

Объёмная доля твёрдой части $P_{тв}$ определяется как:

$$P_{тв} = V_{тв} / V \quad (16)$$

Объём микропор $V_{мп}$ определяется как:

$$V_{мп} = V_{пер} - V_{тв} \quad (17)$$

Объёмная доля микропор $P_{мп}$ определяется как:

$$P_{мп} = V_{мп} / V = P_{пер} - P_{тв} \quad (18)$$

По приведенному алгоритму рассчитаны объёмные содержания структурных элементов 15-ти опытных образцов полистиролбетона. Выполнен анализ влияния структурных элементов полистиролбетона на его свойства. Объёмные содержания (доли) структурных элементов приведены в соответствие с экспериментально определенными свойствами полистиролбетона. Примеры таких зависимостей приведены на рис.1.

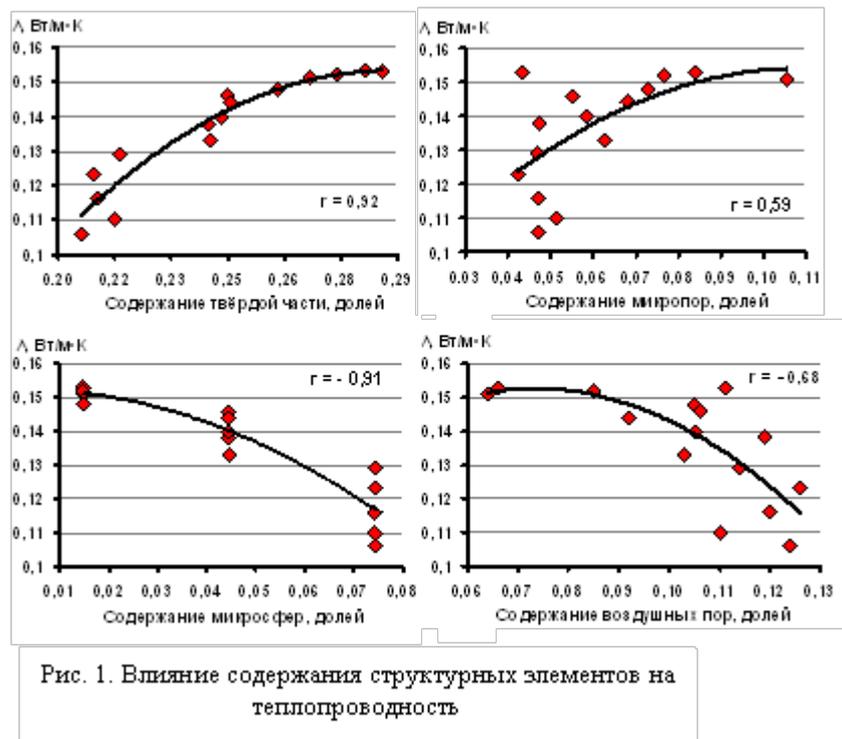


Рис. 1. Влияние содержания структурных элементов на теплопроводность

Анализ графиков позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние на теплопроводность оказывает содержание твердой составляющей (рис.1.а), так как именно количество твердой части определяет плотность материала. Следующее по степени влияния на теплопроводность оказывает количество наполнителя – микросфер (рис.1.в) и меньшее – содержание вовлеченного воздуха (рис.1.г).

Микропористость незначительно ($r=0,59$) влияет на теплопроводность (рис.1.б), что объясняется неопределенным содержанием в капиллярах сорбционной влаги, имеющей, к тому же, различную собственную теплопроводность в свободном состоянии и в поверхностных слоях.

Выводы

Исследовано влияние количества и распределения твердой составляющей на теплопроводность лёгкого бетона в модельных средах и в реальном лёгком материале, с уменьшением толщины перегородок возрастает сопротивление теплопередаче.

Установлены зависимости свойств полистиролбетона от содержания структурных элементов. Полученные результаты являются основой дальнейших исследований по получению лёгких бетонов с улучшенными теплозащитными характеристиками.

SUMMARY

The results of researches of structural parameters are resulted polystyrene of concrete and their relationship with heat conductivity. Influence of by volume maintenance and distributing in material of hard constituent is definite on heat conductivity polystyrene of concrete.

Литература

1. Керш В.Я. Модификация твердой составляющей полистиролбетона / В.Я. Керш, Н.В. Дмитриева, М.И. Холдаева // Вісник ОДАБА. – Одеса: «Місто майстрів», 2006. - вип. №23. - С.100-104.

2. Патент на корисну модель №39515 Україна, МПК (2009)UA C 04 B 14/02.Суміш для приготування полістиролбетону/ Дорожкін В.В., Керш В.Я., Керш Д.В., Холдаєва М.І., Бюл. № 4, 2009 р.