

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ЯЧЕИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Керш В.Я., Чабаненко П.Н., Выровой В.Н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина)

Широкое распространение при теплоизоляции ограждающих конструкций в современном строительстве получают изделия из ячеистого бетона. Вопросы технологии получения ячеистого бетона, так же как и взаимосвязи прочности с его составом и параметрами поровой структуры, изучены достаточно хорошо. В то же время вопросы, отражающие зависимости теплозащитных свойств ячеистого бетона от его структурных характеристик, до сих пор раскрыты недостаточно.

Теплозащитные свойства ячеистого бетона определяются, в основном, плотностью материала. Однако, даже при одинаковой плотности, то есть при одинаковом соотношении твердой и газообразной составляющих, теплопроводность материала может значительно изменяться (до 25-30%).

Такие изменения многими исследователями объясняются различным характером ячеистой структуры, в первую очередь – распределением газовых пор по размерам. При этом механизм теплопереноса объясняется тем, что, кроме теплопередачи по твердой части, в процессе теплообмена активно участвует воздух, находящийся в ячейках размером более 10–20 мкм за счет всех видов теплопередачи – теплопроводности, конвекции и излучения. Перераспределение вклада того или иного вида теплопередачи связывается с изменением размера ячеек. Однако точность расчетных формул, учитывающих только параметры ячеистой пористости, оказалась недостаточной.

Более плодотворным представляется подход, в соответствии с которым определяющее значение для теплопереноса в ячеистом бетоне имеет характер распределения твердой составляющей в материале.

Справедливость такого подхода подтверждена сравнительным экспериментом по определению теплопроводности ячеистого бетона при атмосферном давлении и в вакууме, в ходе которого установлено соотношение между количествами теплоты, передаваемой через твердую составляющую и воздушное наполнение газовых пор.

Основная часть (около 85%) теплового потока передается по твердой компоненте – межпоровым перегородкам.

Задачей исследования являлся анализ влияния структурных параметров, в частности - количества и характера распределения твердой составляющей пенобетона, на его теплопроводность. Рассмотрено также влияние на теплопроводность других структурных элементов - ячеистой пористости и микропористости.

Теоретическое исследование процесса теплопереноса проводится на модели структуры, отражающей основные геометрические свойства реальной системы. Ячеистая структура (макроструктура) пенобетона моделируется набором нетеплопроводных сфер, гексагонально упакованных в плотной теплопроводной матрице (Рис. 1). Структура межпоровых перегородок (микроструктура) представлена зернистой укладкой теплопроводящих (в различной степени) частиц, хаотически расположенных в нетеплопроводной газовой среде (Рис. 2). Характер распределения линий тока тепла в каждой из этих структур принципиально отличается.

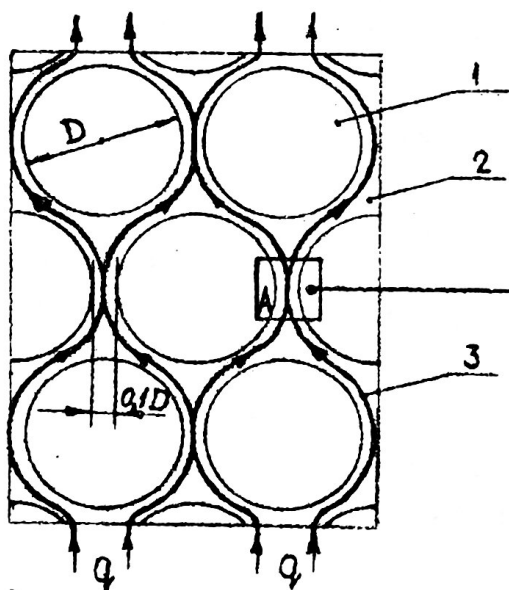


Рис. 1: 1–пора, 2–межпоровая перегородка, 3 – линия тока тепла

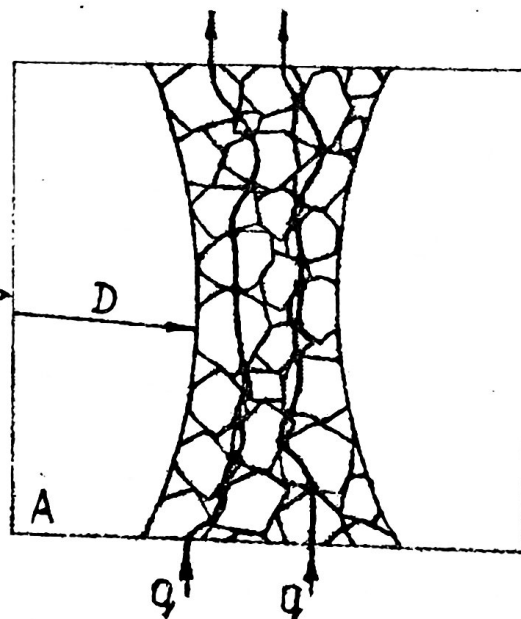


Рис. 2

Исследовано формирование и распространение теплового потока в физических модельных средах. Образцы – модели ячеистых структур изготовлены из гипса и эпоксидной смолы с добавлением вспененных гранул полистирола.

Гипсовые образцы-пластины квадратного сечения с отверстиями различного диаметра, имитирующими ячеистые поры, использованы для изучения влияния количества и толщины перегородок на

теплопроводность. 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 вспененными полистирольными гранулами размером 4 и 2 мм, имитирующими газовые ячейки. Общее объемное содержание пенополистирола во всех образцах (псевдоячеистая пористость) было одинаковым и составляло половину объема. Изменение распределения твердой части в материале и связанное с ним изменение толщины межпоровых перегородок обеспечено за счет варьирования размеров гранул. В первом образце содержались только гранулы диаметром 4 мм, во втором – гранулы 2 мм и в третьем – смесь гранул указанных размеров в определенном соотношении. Максимальная теплопроводность образца с гранулами 4 мм соответствует наибольшей толщине межпоровых перегородок.

Распространение теплового потока в прозрачной модельной среде из эпоксидной смолы с пенополистирольными сферическими включениями наблюдалось и фотофиксировалось с применением метода фотоупругости. Картина распространения теплоты согласуется с принятой моделью теплопереноса в ячеистом бетоне. Исследования на модельных системах подтвердили предположение о преимущественном влиянии характера распределения твердой части в ячеистом материале на теплопроводность.

Влияние структурных параметров реального ячеистого бетона на теплопроводность изучено методом экспериментально-статистического моделирования. Опытные образцы конструктивно-теплоизоляционного пенобетона изготовлены по стандартному трехуровневому плану типа В-3. В эксперименте изменялись количество воды затворения, вид и количество наполнителя. Компоненты состава: вяжущее - портландцемент М500 Одесского цементного завода; наполнители - известняк – ракушечник и речной песок; пенообразователь ПБ-2000. Одновременно с пенобетонными балочками изготовлены образцы аналогичного состава, состоящие только из растворной части без добавления пенообразователя, которые рассматриваются как аналог материала межпоровых перегородок ячеистого бетона.

Определялись плотность ρ и теплопроводность λ образцов, различные виды пористости (общая P_0 , ячеистая $P_{яч}$, микропористость $P_{мп}$) пенобетона, а также содержание материала перегородок $P_{тв+мп}$ и содержание исключительно твердой части перегородок $P_{тв}$. Под микропорами здесь понимаются поры размером менее 10 мкм:

капиллярные и контракционные поры, а также технологические дефекты перегородок, увеличивающие термическое сопротивление материала. Кроме того, определялись распределение ячеистых пор по размерам, средний размер пор и общая поверхность ячеек.

Сравнение графиков зависимости теплопроводности от плотности пенобетона (рис. 3) и плотности затвердевшего раствора аналогичного состава (рис. 4) приводит к выводу о несоответствии теплопроводности исходной смеси и вспененной композиции.

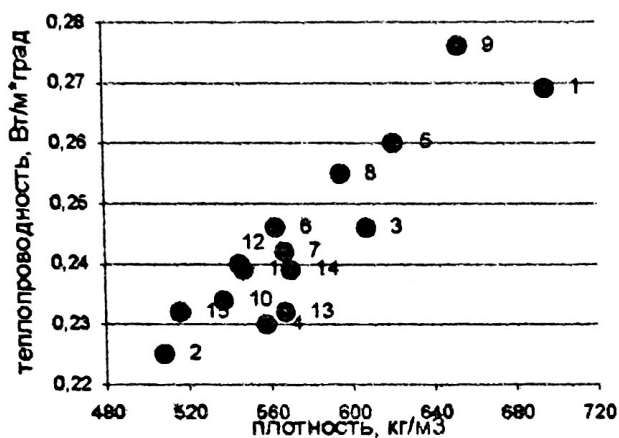


Рис. 3

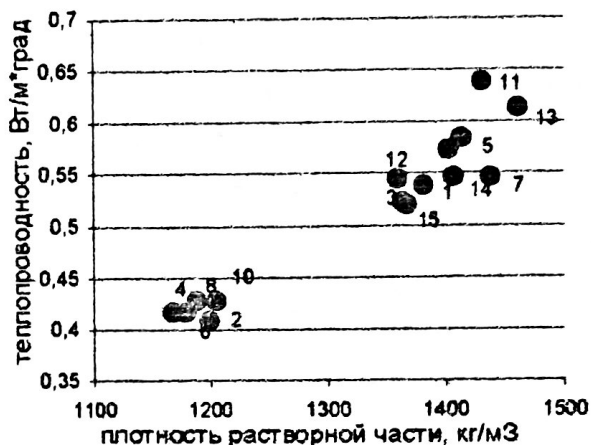


Рис. 4

Сопоставляя результаты измерений пенобетона и растворной части, удалось проанализировать раздельное влияние твердой части межпоровых перегородок, ячеистой пористости и микропористости вспененной композиции на теплопроводность.

Степень влияния перечисленных структурных параметров на теплопроводность оценена с помощью корреляционного анализа. Наиболее взаимосвязано с теплопроводностью (коэффициент корреляции $R > 0,75$) содержание твердой части перегородок (рис. 5).

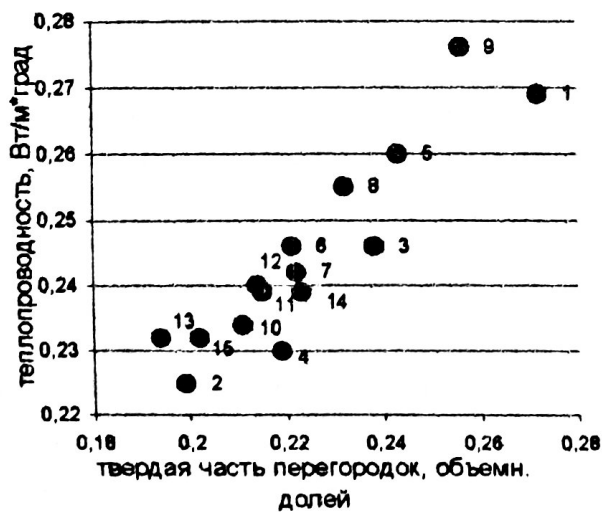


Рис. 5

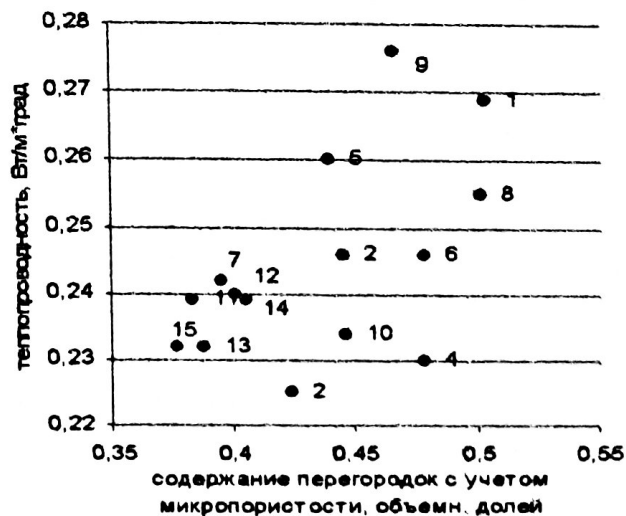


Рис. 6

Содержание перегородок с учетом микропор (рис. 6) менее связано с теплопроводностью ($R = 0,56$).

Однозначного влияния микропористости на теплопроводность не установлено, что объясняется неопределенным содержанием в капиллярах сорбционной влаги, имеющей, к тому же, различную собственную теплопроводность в свободном состоянии и в поверхностных слоях. Достаточно заметное влияние на теплопроводность обнаружила ячеистая (макро-) пористость ($R = 0,56$), которая изменялась в опытных образцах от 0.48 до 0.63 при изменении плотности от 500 до 700 кг/м³.

Разница в значениях теплопроводности между образцами с одинаковым содержанием твердой части перегородок объясняется особенностями её распределения в материале за счет ячеистой (в основном) и микропористости. По нашим наблюдениям толщина межпоровой перегородки в ячеистом бетоне плотностью 500-700 кг/м³ составляет примерно 1/10 от диаметра ячеек, для двух соседних пор разного размера – 1/10 от полусуммы их диаметров. Исходя из этого соотношения, ячейки размером 1 мм разделены перегородками толщиной примерно 100 мкм, которые, в свою очередь, могут содержать поры меньших размеров, то есть толщина перегородки может уменьшиться в 2 и более раза.

Уменьшение поперечного размера вызывает непропорциональное уменьшение площади сечения перегородки как теплопроводящего канала. Например, уменьшение толщины перегородки в 2 раза приводит к уменьшению площади теплопередающего сечения в 4 раза, а уменьшение толщины перегородки в 4 раза уменьшает площадь сечения в 16 раз. Соответственно уменьшается и количество теплоты, проходящей через это сечение.

Переходя от плоских сечений к объемным фигурам, можно утверждать, что распределение твердой части в виде тонких перегородок в некотором объеме материала существенно повышает сопротивление теплопередаче по сравнению с таким же количеством твердого материала, распределенным в том же объеме в виде более толстых перегородок.

Управлять распределением твердой составляющей во взаимосвязанной системе “поры – межпоровые перегородки” можно за счет рецептурно-технологических факторов. Характер распределения газовых ячеек по размерам в опытных образцах изучен методом лазерной порометрии, разработанным на кафедре процессов и аппаратов ОГАСА, и построены зависимости теплопроводности от содержания пор по размерным группам.

В качестве примера приведены зависимости теплопроводности от содержания пор размером до 0,1 мм (рис.7) и от 0,9 до 1,0 мм (рис.8).

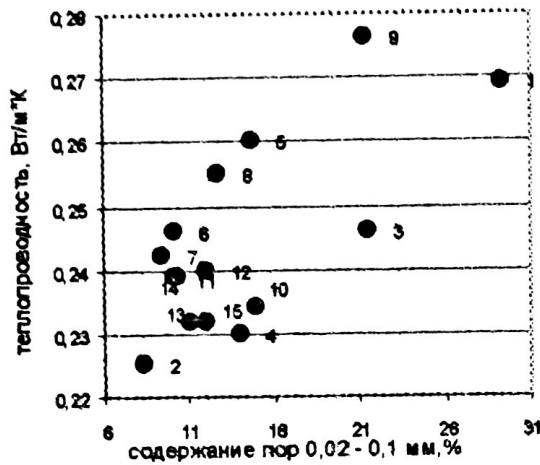


Рис. 7

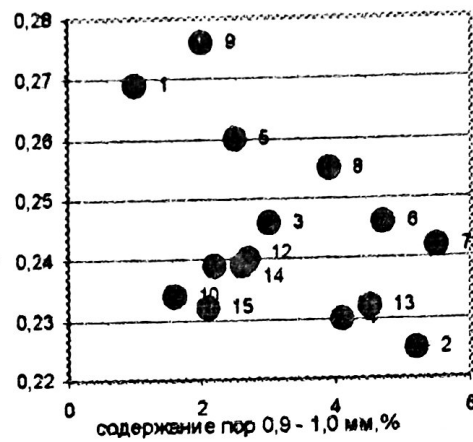


Рис. 8

Общий характер зависимостей таков, что для различных по плотности материалов поры размером до 0,1 мм (условно – мелкие) повышают теплопроводность, поры размером от 0,9 до 1,0 мм (условно – крупные) уменьшают теплопроводность.

Для равноплотных образцов характер зависимостей меняется. Например, у образцов № 4 ($\lambda=0,230$ Вт/м*К) и № 6 ($\lambda=0,246$ Вт/м*К) объемные содержания всех рассматриваемых структурных элементов одинаковы. В то же время характер ячеистой пористости образцов 4 и 6 различен. Гистограммы распределения по размеру пор в этих образцах приведены на рис. 9 и 10 соответственно.

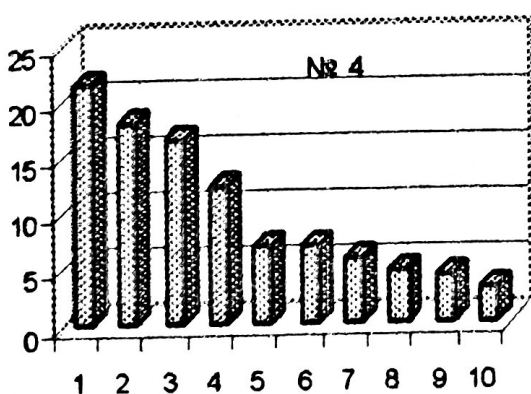


Рис. 9

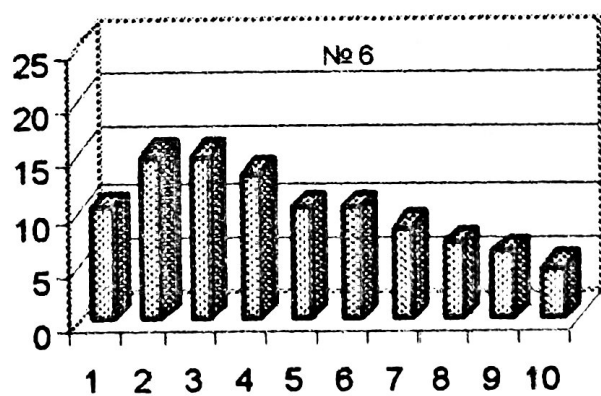


Рис. 10

Так, например, меньшему значению теплопроводности образца № 4 соответствует повышенное содержание «мелких» (рис. 7) и несколько пониженное содержание «крупных» пор (рис. 8), то есть более плотная упаковка ячеек. При этом количество (или

протяженность) межпоровых перегородок в образце № 4 больше, а толщина их меньше, чем в образце № 6 (что подтверждено микроскопическими измерениями), хотя общее содержание твердой части в обоих образцах одинаково.

Анализ математических моделей, учитывающих зависимости плотности, теплопроводности и структурных параметров от рецептурно-технологических факторов, также подтверждает экспериментальные выводы.

Минимальная теплопроводность в исследованном факторном пространстве определена у образцов, изготовленных с максимальным количеством воды затворения и использованием известняка в качестве наполнителя. При тех же уровнях факторов, как следует из моделей, для ячеек разных размеров, за счет их более плотной упаковки, обеспечивается и соответствующее распределение твердой составляющей.

Этими и другими технологическими приемами можно регулировать распределение твердой составляющей, добиваясь минимально возможной теплопроводности для пенобетона заданной плотности.

Литература

1. Современные методы оптимизации композиционных материалов/ Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я. и др. - К.:Будівельник, 1983.- 144 с.
2. Керш В.Я. Структура и теплопроводность поризованных материалов / Тез. докл. Международ. конф. "Ресурсосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций", ч.2.- Белгород: Изд.-во "Везелица", 1993, с.66.
3. Чабаненко П.Н., Керш В.Я. Влияние параметров твердой составляющей на теплозащитные свойства ячеистого бетона // В сб. наук. праць „Композиційні матеріали для будівництва”. – Макіївка: ДонДАБА, 2005, с.97 – 100.
4. Меркин А.П. Ячеистые бетоны: научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строит. материалы, 1995. № 2, с.11-15.
5. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Справочная книга. Л. Энергия, 1974. 264 с.