

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА НА ЕГО ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

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

Изложены результаты исследований взаимосвязи теплопроводности и структурных составляющих ячеистого бетона – твердой части, макро- и микропористости. Показано определяющее влияние объемного содержания и распределения твердой составляющей на теплопроводность пенобетона.

В строительном секторе экономики Украины расходуется около 30% от общего объема потребляемого топлива (85% из них - в существующих зданиях) и наблюдается тенденция к росту энергопотребления.

Большие потери топливно-энергетических ресурсов (до 40%) в жилищно-коммунальном фонде в значительной мере вызваны недостаточными теплозащитными свойствами строительных конструкций. Задача теплозащиты зданий эффективно решается с помощью ячеистых бетонов. Теплозащитные свойства ячеистых бетонов зависят от их пористой структуры, которая, в свою очередь, определяется технологией получения материала. По способу образования пор различают два типа ячеистых бетонов: газобетон и пенобетон. Экономические факторы сегодня стимулируют активное развитие производства бетонов второй группы – пенобетонов неавтоклавного твердения.

Несмотря на особенности поровой структуры из-за различия технологий, теплопроводность обоих видов ячеистого бетона определяется, в первую очередь, плотностью материала и связана с ней прямой зависимостью. Но, даже при одинаковой плотности, разброс значений теплопроводности может достигать 25 – 30 %. Исследование этого факта, кроме чисто научного, представляет также и практический интерес, так как именно здесь находится резерв дополнительного снижения теплопроводности материала только за счёт технологических приёмов.

В соответствии с современными представлениями, в сухих поризованных материалах теплота передаётся, в основном, по твёрдой фазе, которую количественно можно охарактеризовать набором таких параметров, как объёмное содержание её в материале (интегральная харак-

теристика), длина, толщина и распределение по размерам межпоровых перегородок, их преимущественная ориентация и степень однородности распределения в пространстве (дифференциальные характеристики).

Для оценки степени влияния твёрдой части на теплоперенос проведены сравнительные измерения теплопроводности ячеистых материалов при атмосферном давлении и в вакууме с помощью специально разработанной вакуумной установки. В результате измерений установлено снижение теплопроводности опытных образцов в вакууме на 15 % по сравнению с теплопроводностью в обычных условиях, связанное с устранением теплопередачи через воздушное наполнение ячеек. Это позволяет сделать вывод о том, что основная часть (около 85%) теплового потока передается по твердой компоненте – межпоровым перегородкам.

Исходя из этого, сформулирована задача исследования – анализ влияния структурных элементов, в частности, количества и характера распределения твердой составляющей ячеистого бетона, а также макро- и микропористости на его теплопроводность.

Рассматривая на макроуровне структуру пенобетона как двухфазную (перегородки – ячеистые поры сферической формы) систему, исследовано формирование и распространение теплового потока в физических модельных средах. В качестве материалов для физических моделей использовались гипс, пористая керамика, эпоксидная смола и вспененные гранулы пенополистирола. В результате экспериментов подтверждено определяющее влияние объемного содержания твердой фазы и её распределения в объеме материала на теплопроводность.

Исследовано распространение теплового потока в модельной среде (прозрачная матрица из эпоксидной смолы с включениями пенопластовых сфер), имитирующей ячеистый материал. Применён метод фотоупругости, позволяющий визуализировать распространение теплового потока в материале, наблюдая термоупругие напряжения в поляризованном свете. Перемещение фронта теплового потока наблюдалось на цветном экране монитора и фотографиях. Картина распространения теплоты согласуется с принятой моделью теплопереноса в ячеистом бетоне.

Следующим этапом явилось исследование влияния структурных параметров реального ячеистого материала на теплопроводность.

Объектом исследования выбран конструкционно-теплоизоляционный пенобетон. Опытные образцы средней плотности 600 кг/м^3 изготовлены по стандартному трехуровневому плану ти-

па В-3. Переменными факторами приняты: X_1 – диаметр расплыва смеси; X_2 – количество наполнителя; X_3 – вид наполнителя.

В качестве вяжущего при изготовлении опытных образцов применялся портландцемент М500 Одесского цементного завода.

Наполнителем служили отходы пиления известняка – ракушечника и речной песок с $M_{кр}=1,6$, которые после высушивания и измельчения просеивали через сито с размером отверстия 0,63.

Для образования ячеистой структуры применён концентрированный пенообразователь ПБ-2000. Рабочий раствор пенообразователя с водой - 1:25 - обеспечивал получение стойкой и однородной технической пены.

Пенобетонная смесь, изготовленная в соответствии с каждой из 15 точек плана, заливалась в трехгнездовые формы с размером ячеек 40 x 40 x 160 мм. После выдержки образцы помещались на 28 суток в камеру нормального твердения

Наряду с пенобетонными балочками по той же схеме были изготовлены образцы, состоящие только из растворной части без добавления пенообразователя, которые можно рассматривать как аналог материала межпоровых перегородок ячеистого бетона.

Все опытные образцы пенобетона и растворной части до начала измерений выдерживались в течение 20 суток в помещении с температурой 22 °С и относительной влажностью воздуха 60 %.

Определялись плотность ρ и теплопроводность λ образцов пенобетона и растворной части, пористость (общая P_0 , ячеистая $P_{яч}$, микропористость $P_{мп}$) пенобетона, а также содержание материала перегородок $P_{тв+мп}$ и содержание исключительно твердой части перегородок $P_{тв}$. Кроме того, определялись распределение ячеистых пор по размерам, средний размер пор и общая поверхность ячеек.

Измерения производились при естественной влажности материала, что наиболее соответствует условиям работы материала в ограждающих конструкциях (условия эксплуатации Б по СНиП П-3-79**). После чего образцы высушивались до постоянной массы и определялась абсолютная влажность материала.

Сравнение графиков зависимости теплопроводности от плотности пенобетона (рис. 1) и плотности затвердевшего раствора аналогичного состава (рис. 2) приводит к выводу о несоответствии теплопроводности исходной смеси и вспененной композиции.

В данной работе сделана попытка проанализировать отдельное влияние твердой части межпоровых перегородок, ячеистой (макро) пористости и микропористости ячеистого бетона на теплопроводность.

Здесь под микропористостью понимаются капиллярные и контракционные поры, а также технологические дефекты перегибов, увеличивающие термическое сопротивление материала.

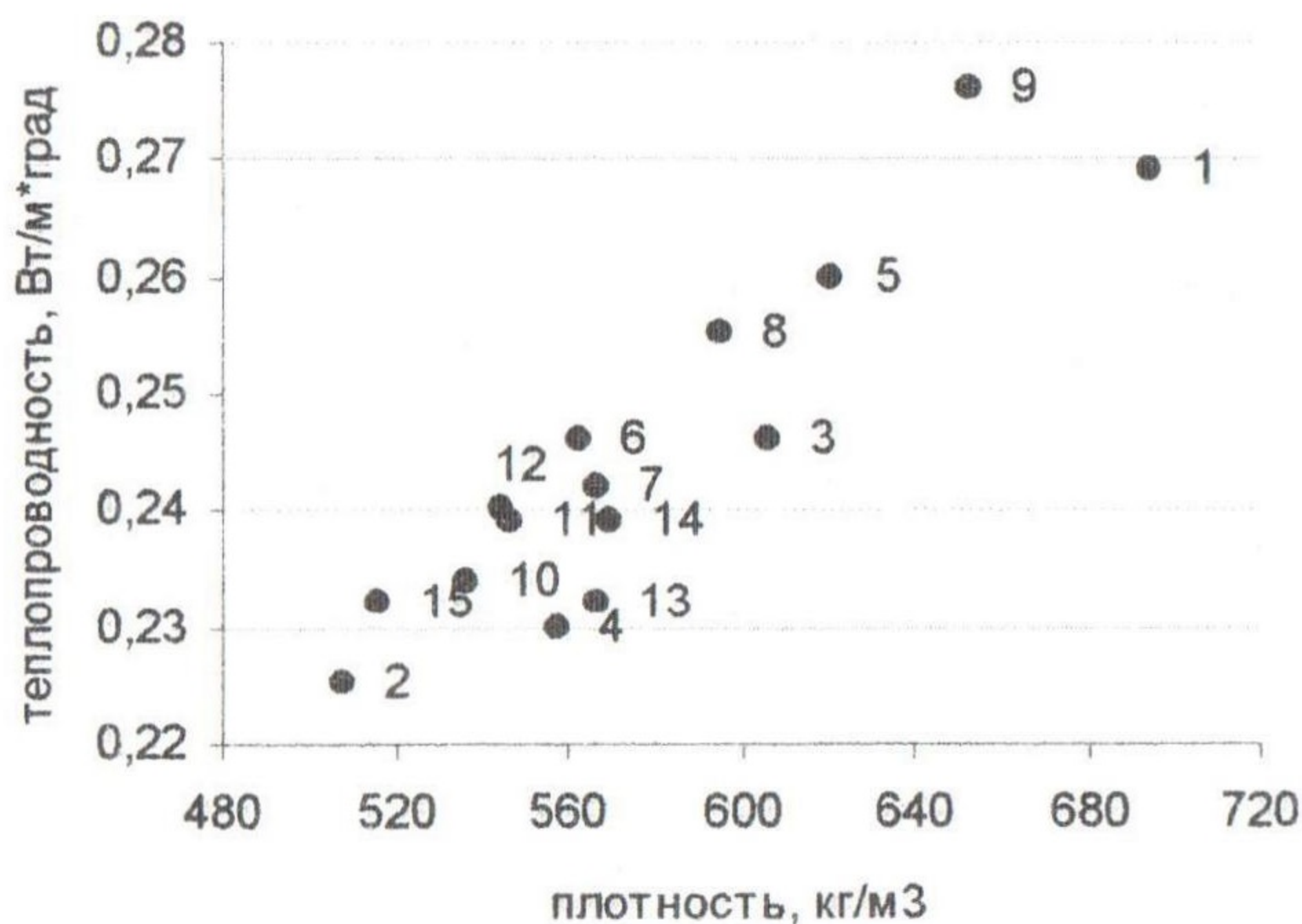


Рис. 1. Зависимость теплопроводности от плотности пенобетона (номера соответствуют точкам плана эксперимента).

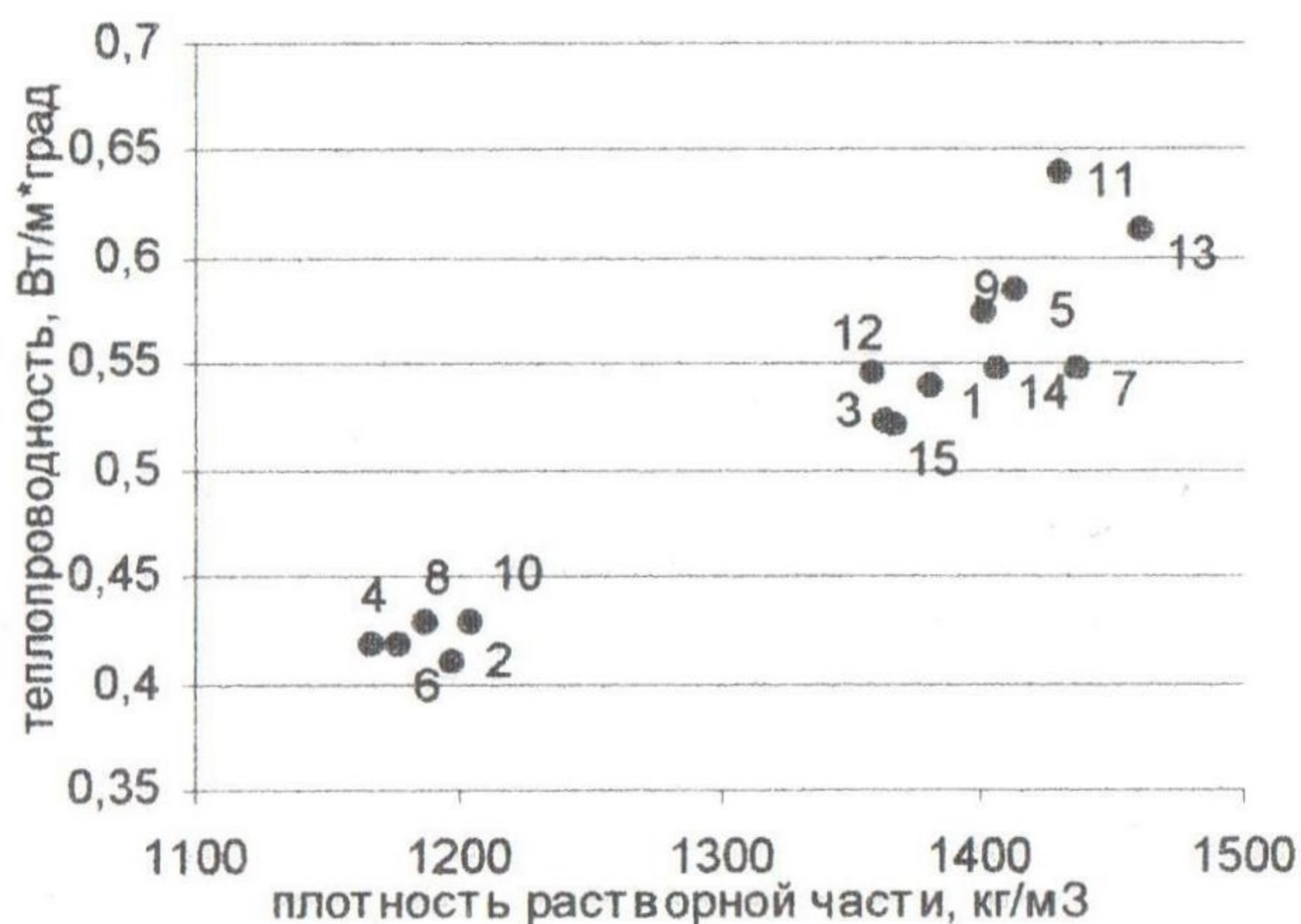


Рис.2. Зависимость теплопроводности от плотности растворной части.

Влияние каждой из 3-х перечисленных структурных составляющих оценивалось, исходя из предположения, что объемное соотношение твердой составляющей и микропористости в затвердевшем растворе

такое же, как и в межпоровых перегородках ячеистого бетона. Содержание твердой составляющей растворной части определяется как

$$P_{ТВ.РЧ} = \rho_{РЧ} / \rho_{ИСТ}, \quad (1)$$

а микропористости растворной части

$$P_{МП} = 1 - \rho_{РЧ} / \rho_{ИСТ}. \quad (2)$$

Объемное содержание межпоровых перегородок в пенобетоне определяется как

$$P_{ТВ+МП} = \rho_{ПБ} / \rho_{РЧ}, \quad (3)$$

а содержание ячеистой пористости

$$P_{ЯЧ} = 1 - \rho_{ПБ} / \rho_{РЧ} \quad (4)$$

Тогда содержание собственно твердой части перегородок

$$P_{ТВ} = P_{ТВ+МП} \times P_{ТВ.РЧ}, \quad (5)$$

а микропористость перегородок

$$P_{МП} = P_{ТВ+МП} - P_{ТВ} \quad (6)$$

Степень влияния перечисленных структурных параметров на теплопроводность оценена с помощью корреляционного анализа.

Наиболее тесно взаимосвязано с теплопроводностью (коэффициент корреляции $R = 0,92$) содержание твердой части перегородок (рис. 3).

Разница в значениях теплопроводности между образцами с одинаковым содержанием твердой части перегородок объясняется различным количественным и качественным составом исходных твердых компонентов (например, образец № 4: цемент – 0,7 и известняк – 0,3 массовых частей; образец № 6: цемент – 0,9 и песок – 0,1 массовых частей).

Содержание перегородок с учетом микропористости (рис. 4) менее связано с теплопроводностью ($R = 0,56$). Однозначного влияния мик-

ропористости на теплопроводность не установлено ($R = 0,14$), что объясняется неопределенным содержанием в капиллярах сорбционной влаги, имеющей различную теплопроводность в свободном состоянии и в поверхностных слоях.

Достаточно заметное влияние на теплопроводность обнаружила ячеистая пористость ($R = -0,56$), которая изменялась в опытных образцах от 0.5 до 0.6 при изменении плотности от 500 до 700 кг/м³.



Рис. 3. Влияние на теплопроводность твердой части перегородок пенобетона.

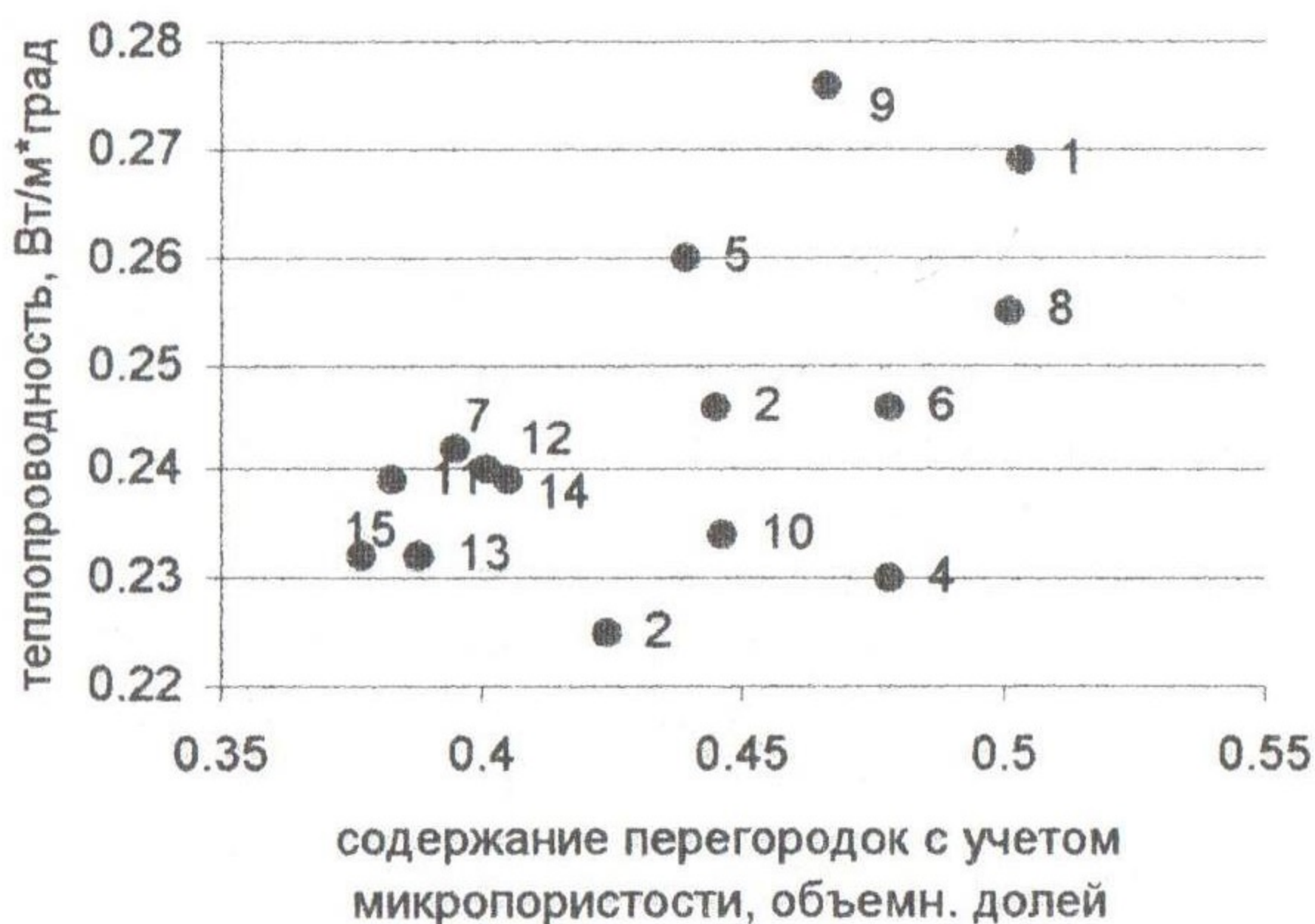


Рис. 4. Влияние на теплопроводность перегородок с учетом микропористости.

Выводы

1. Исследована теплопередача в модельных средах, имитирующих ячеистые материалы. Установлено определяющее влияние количества и распределения твердой составляющей на теплопроводность.
2. Проанализировано раздельное влияние твердой части межпоровых перегородок, ячеистой (макро) пористости и микропористости ячеистого бетона на теплопроводность. Наиболее тесно взаимосвязано с теплопроводностью содержание твердой части перегородок ($R = 0,92$), менее связана ячеистая пористость ($R = -0,56$).
3. Отсутствие однозначного влияния микропористости на λ ($R = 0,14$) объясняется различным содержанием сорбционной влаги в капиллярах.

Литература

1. Современные методы оптимизации композиционных материалов / Вознесенский В. А., Выровой В. Н., Керш В. Я. и др. - К.: Будівельшк, 1983. - 144 с.
2. Чабаненко П.Н., Керш В.Я. Влияние параметров твердой составляющей на теплозащитные свойства ячеистого бетона // В сб. наук. праць „Композиційні матеріали для будівництва”. - Макеевка: ДонДАБА, 2005, с.97 – 100.
3. Меркин А.П. Ячеистые бетоны: научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строит. материалы, 1995. №2, с.11-15.