

*Пашкевич С. А., канд. техн. наук, доц.,  
Пустовгар А. П., канд. техн. наук, проф.,  
Адамцевич А. О., канд. техн. наук, м. н. с.  
Еремин А. В., м. н. с.*

*Московский государственный строительный университет*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ, ТВЕРДЕЮЩИХ В ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ ОТ +22 °С ДО -10 °С\***

**pashkevich86@mail.ru**

*В статье рассмотрены основные проблемы, возникающие при устройстве клеевых и базовых штукатурных слоев систем фасадных теплоизоляционных композиционных (СФТК) при низких температурах окружающего воздуха и приводятся результаты экспериментального исследования влияния добавки низкомолекулярного полиэтиленоксида с молекулярной массой 6000 (PEG 6000) на формирование микроструктуры конечного материала на основе сухой строительной смеси для устройства клеевых и базовых штукатурных слоев СФТК в температурном диапазоне твердения +22...-10 °С. В работе выполнен анализ распределения пор по объему образцов с использованием метода эталонной контактной порометрии отдельно для каждого вида пор (микро-, мезо-, макро-) исследуемого материала, а также установлена зависимость между степенью влияния рассматриваемой добавки низкомолекулярного полиэтиленоксида на формирование поровой структуры и температурным режимом твердения смеси.*

**Ключевые слова:** цементная система, СФТК, поровая структура, гидратация, эталонная порометрия, фасадные системы

Одним из важнейших факторов, определяющим свойства затвердевшей цементной системы, является микроструктура. Формирование микроструктуры происходит как под внешними механическими воздействиями, так и под влиянием коллоидно-химических и физико-химических процессов, происходящих в период гидратации вяжущего (диспергирование цементных зерен, их растворение, с последующей коагуляцией и выкристаллизацией и т.д.). Из этого положения можно сделать вывод о том, что любое изменение условий твердения способно повлечь за собой нарушение процессов формирования микроструктуры цементной системы, обеспечивающей гарантированные эксплуатационные характеристики материала. Из всего многообразия отрицательных факторов, негативно влияющих на процесс гидратации вяжущего, отдельно стоит выделить воздействие на систему пониженных и отрицательных температур [1,2,5]. Актуальность данной проблемы определяется возрастающей потребностью в круглогодичном проведении строительно-монтажных работ, связанных с использованием строительных смесей различного назначения [3]. Учитывая тот факт, что подавляющее количество современных строительных смесей представляют собой сложные системы, в состав которых помимо вяжущего и заполнителей входят также модифицирующие добавки, регулирующие определенные свойства растворной смеси и затвердевшего материала, возможность модификации цементных систем противоморозными

компонентами, обеспечивающими нормальное протекание процессов гидратации вяжущего [4] и формирование определенной микроструктуры, должно быть научно обосновано.

Исследования, направленные на изучение развития поровой структуры затвердевшей цементной системы как отдельной структурной составляющей, позволяют с достаточной долей вероятности прогнозировать прочностные характеристики материала [6-8].

На сегодняшний день известно около шестидесяти методов исследования поровой структуры твердых тел, отличающихся информативностью, границами применимости и чувствительностью. Все они ориентированы на макроскопические количества анализируемого вещества и получение интегральной информации о пористости. При исследовании цементных систем, содержащих поры различных размеров и морфологии, наиболее перспективным представляется метод эталонной порометрии [9], поскольку его применение не нарушает и не искажает исходного порового пространства образца.

Принцип определения поровой структуры методом эталонной порометрии сводится к измерению равновесной кривой относительного влагосодержания (отношения объема жидкости в порах к весу или объему пористого тела) между эталоном и испытуемым образцом, то есть равновесной зависимости относительного количества измерительной жидкости в исследуемом образце от ее количества в эталоне, для которого заранее определены зависимости распределения

объемов пор относительно их радиусов [10]. Для этого, эталоны и испытуемый образец проходят предварительную обработку: высушиваются, взвешиваются и пропитываются под вакуумом измерительной жидкостью высокомолекулярного углеводорода – например, октаном. Эффективность использования данного метода определяется следующими факторами:

- Октан абсолютно инертен к продуктам гидратации вяжущего;
- Краевой угол смачивания к поверхности цементных систем стремится нулю, что обеспечивает высокую проникающую способность во все открытые поры образца
- Метод пропитки образцов под вакуумом гарантирует полное удаление воздуха из открытых пор образца

Далее из комплекта «эталон-образец» путем испарения удаляется определенное количество измерительной жидкости. После установления капиллярного равновесия между эталонами и образцом, они раздельно взвешиваются. Из сравнения с сухими массами эталонов и образца

определяется масса и объем жидкости в эталонах и исследуемом образце. Подобные операции проводятся до полного освобождения пор образца от жидкости. По проведенным таким образом измерениям определяется интегральная зависимость массовой пористости от радиусов пор исследуемого образца, принимаемая в логарифмическом масштабе.

В рамках данного исследования методом эталонной порометрии были получены данные о характере формирования поровой структуры модифицированных цементных систем, используемых для устройства клеевых и базовых штукатурных слоев систем фасадных теплоизоляционных композиционных (СФТК) при различных температурных режимах. В качестве модифицирующей добавки использовался органический гетероцепный полимер из класса простых полиэфиров - низкомолекулярный полиэтиленоксид с молекулярной массой 6000 (PEG 6000). Дозировка составляла 5% от массы сухой смеси.

Типы испытуемых систем и температурные условия твердения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Типы цементных систем и температурные условия твердения

№ образца	Тип цементной системы	Условия твердения, °С
1	Смесь сухая строительная для устройства клеевых и базовых штукатурных составов СФТК	+22
2		0
3		-10
4	Смесь сухая строительная, модифицированная PEG 6000, для устройства клеевых и базовых штукатурных составов СФТК при температурах до -10°С	+22
5		0
6		-10

Полученные интегральные зависимости массовой пористости от радиусов образцов в логарифмическом масштабе представлены на рисунках 1...6. Представленные графики позволяют оценить развитие порового пространства испытуемых образцов. Модификация исходного состава PEG 6000 способствует формированию микроструктуры цементной системы в диапа-

зоне от +22°С до -10°С, близкой к нормальной, обеспечивающей высокие эксплуатационные показатели материала.

Принятый по оси абсцисс логарифмический масштаб (радиусы пор, нм), выбран ввиду большого массива данных о размерах пор и ставит своей задачей наглядно продемонстрировать развитие порового пространства.

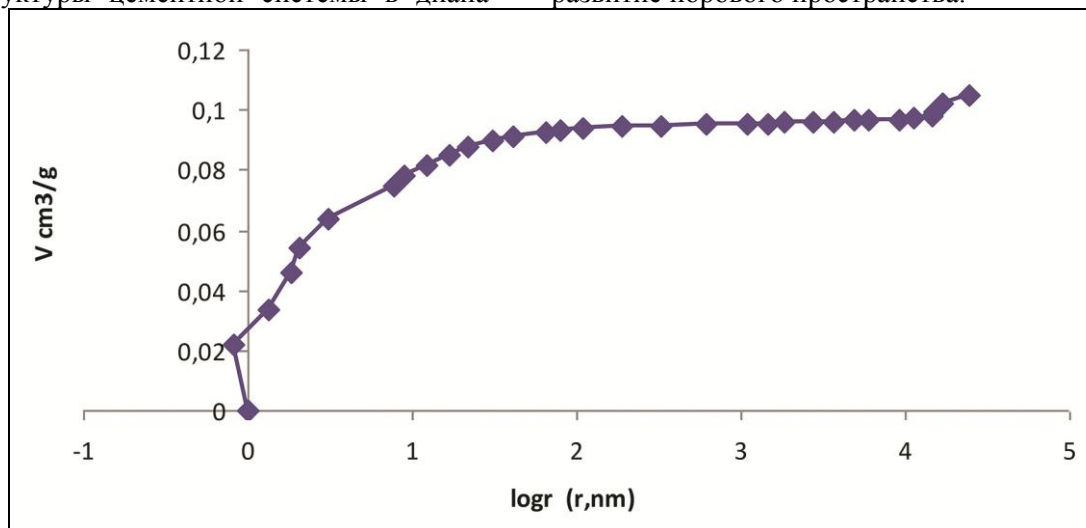


Рис. 1. Интегральная зависимость массовой пористости от логарифмов радиусов пор образца №1

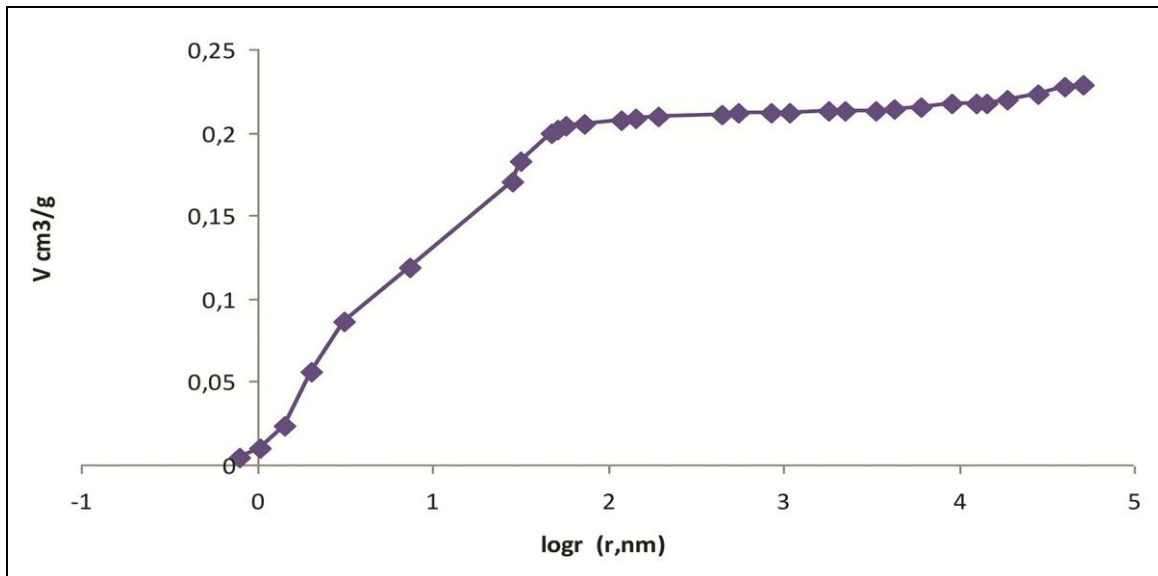


Рис. 2 Интегральная зависимость массовой пористости от логарифмов радиусов пор образца №2

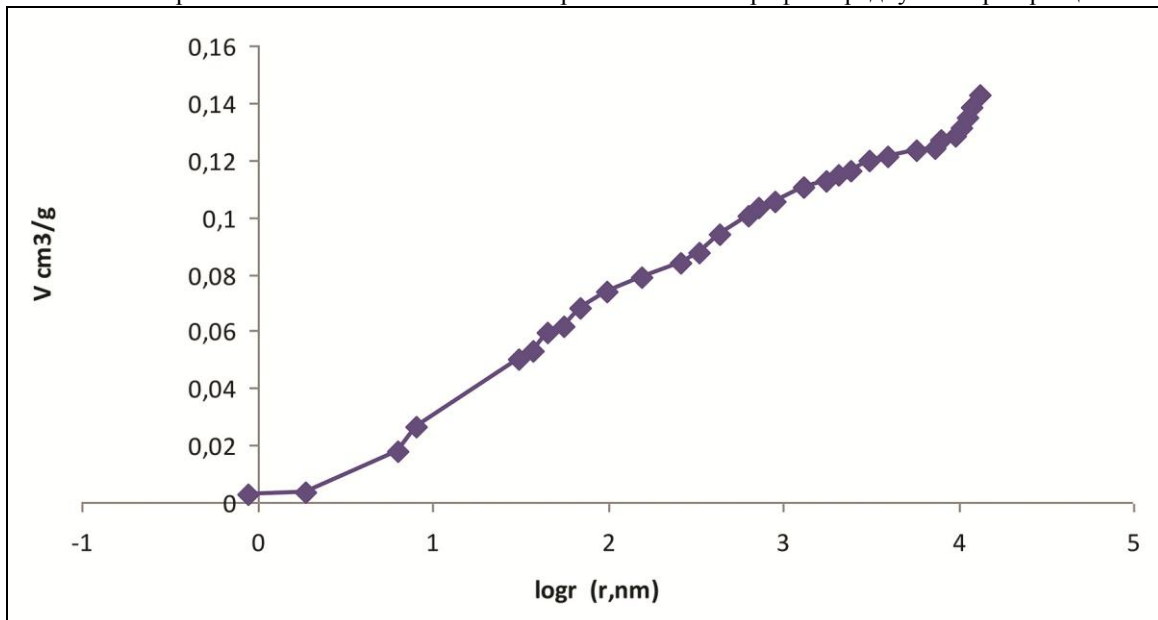


Рис. 3. Интегральная зависимость массовой пористости от логарифмов радиусов пор образца №3

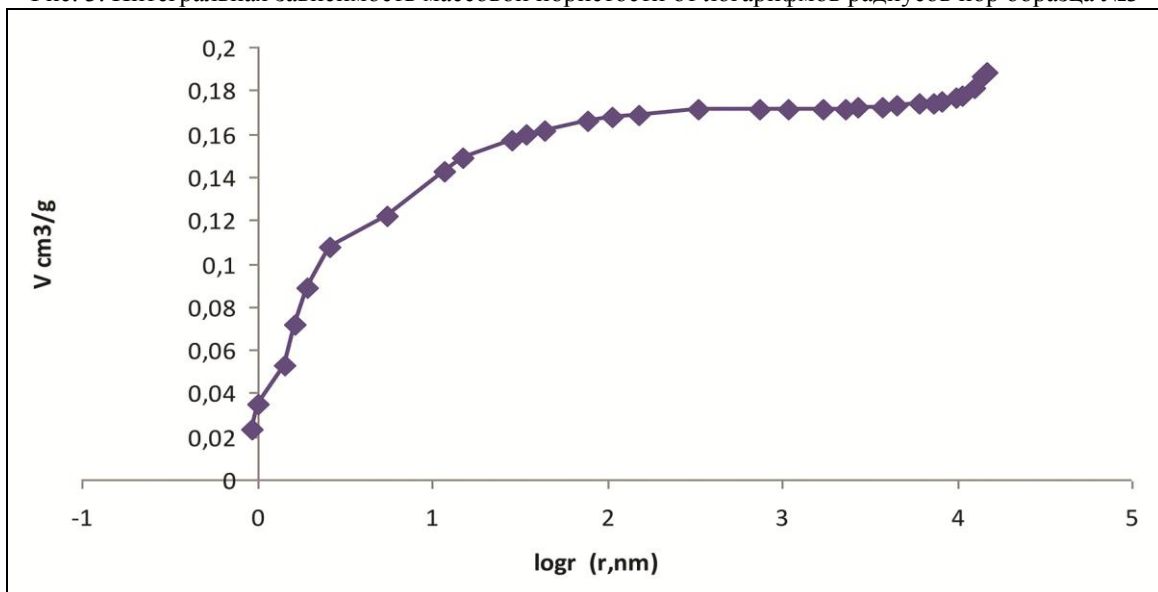


Рис. 4. Интегральная зависимость массовой пористости от логарифмов радиусов пор образца №4

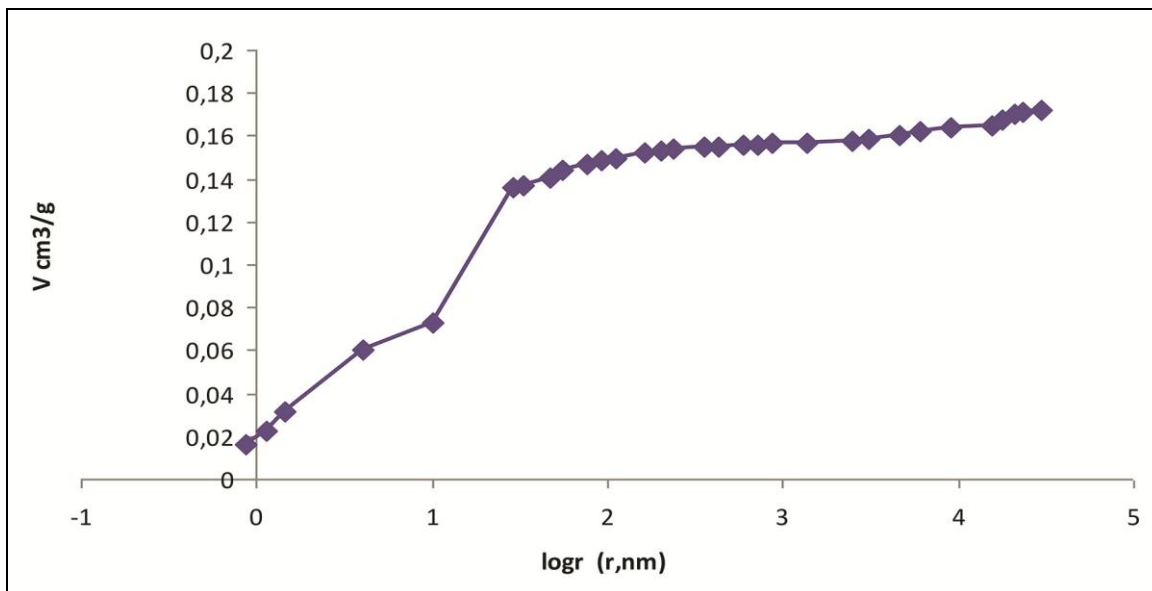


Рис. 5. Интегральная зависимость массовой пористости от логарифмов радиусов пор образца №5

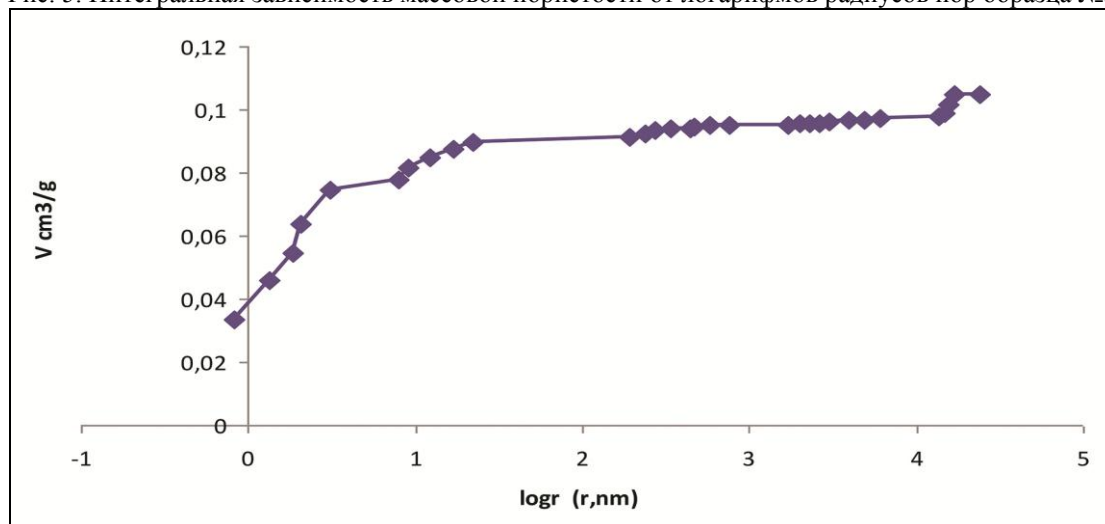


Рис. 6. Интегральная зависимость массовой пористости от логарифмов радиусов пор образца №6

При последующей обработке и переводе полученных данных в натуральные величины

получены количественные значения занимаемого объема пор от вида (таблицы 2...3).

Таблица 2

**Количественные значения занимаемого объема пор от вида для образцов №1-3**

Вид пор	Массовая пористость, см <sup>3</sup> /г		
	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Микропоры (r ≤ 2 нм)	0,10176	0,037627	0,006232
Мезопоры (r 2-200 нм)	1,080388	2,051162	0,490704
Макропоры (r ≥ 2 нм)	1,459358	3,46587	2,319509

Таблица 3

**Количественные значения занимаемого объема пор от вида для образцов №4-6**

Вид пор	Массовая пористость, см <sup>3</sup> /г		
	Образец №4	Образец №5	Образец №6
Микропоры (r ≤ 2 нм)	0,2726	0,070122	0,134029
Мезопоры (r 2-200 нм)	1,502841	1,441276	0,58827
Макропоры (r ≥ 2 нм)	2,807838	2,73846	1,937955

Распределение пор образцов относительно занимаемого объема представлено на рисунке 7.

На рисунке 7 четко прослеживается тенденция к значительному увеличению массовой пористости в области макропор с одновременным уменьшением в областях мезо- и микропор

в структуре образца, не модифицированного PEG 6000, при снижении температуры твердения. В практическом плане это способно привести к значительному снижению прочностных и эксплуатационных характеристик материала.

