

четной характеристики звукоизоляции, определенной по лабораторным измерениям, по которым  $I_L = 41$  дБ, а  $E_L = -13$  дБ. Определенные значения ниже нормативных (табл. 1). Это можно объяснить следующим:

1. При эксплуатации зданий с легкими внутренними ограждающими конструкциями на основе дерева в последних возникают трещины, ухудшается уплотнение стыков и т.д. Эти нарушения отрицательно влияют на акустические характеристики внутренних перегородок и стен. Различие в величинах характеристик, полученных лабораторными и натурными измерениями, составляет  $\Delta I_L = 11,6$  дБ, а  $\Delta E_L = 9,6$  дБ, что в 4,8 раза больше, чем разрешено нормами ЧССР. Исследуемые перегородки можно улучшить за счет заполнения воздушных прослоек звукоизоляционным материалом.

2. Уплотнение стыков необходимо выполнять пластичными, имеющими большую механическую прочность материалами, например резиновыми профилями завода в г. Dolné Vestenice. Следует уделить внимание и конструкционному решению стыков панелей для предотвращения появления акустических мостов.

Исследованная конструкция рекомендована для широкого внедрения в строительную практику при устранении недостатков, влияющих на ее звукоизоляционные свойства.

УДК 666.97.031.9+666.97.035.5

В.Д. Акельев, Л.Е. Стаховская, канд-ты техн. наук  
(БПИ)

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТВЕРДЕНИЯ НА СТРОЕНИЕ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА БЕТОНА

В связи с проблемой получения долговечных и морозостойких строительных материалов приобретает интерес изучение структуры бетона и его составляющих, прошедших тепловую обработку в "сухой" среде, в частности характер его пористости.

Нами исследовано поровое пространство бетонных образцов, твердевших в нормальных условиях в течение 28 сут при температуре  $18 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности среды 80–90%; паровой среде по режиму 2+2+4+1 при максимальной температуре среды  $80^\circ\text{C}$  и "сухой" среде установки с лучистым подводом тепла по режиму, полученному методом математического планирования эксперимента: температура среды 125–130 $^\circ\text{C}$ , относительная влажность 35–40%, скорость подъема температуры излучающих поверхностей 50–57 $^\circ\text{C}/\text{ч}$ , время термообработки 5 ч [1].

Состав бетона: портландцемент М500 (активность  $R_{II} = 550$  кг/м<sup>2</sup>, нормальная плотность 32,5% – 320 кг); песок с насыпной массой 1610 кг/м<sup>3</sup> (мо

дуль крупности 2,44, влагосодержание 4,5%, загрязненность 2–3% – 757 кг); гранитный щебень с объемной насыпной массой 1315 кг/м<sup>3</sup> (влагосодержание – 1,5%, загрязненность 1–2% – 1080 кг); водоцементное отношение – 0,41; 0,61.

Для анализа пористости использовался метод СВЧ [2], позволяющий находить функцию распределения пор по размерам в диапазоне от 10 до 200 А, а при исследовании пористости в пределах радиусов от 50 до 75000 А применялся ртутный порометр.

Результаты исследования показали, что при тепловой обработке в "сухой" среде пористость бетона меньше на 5,2% по сравнению с паротепловой (табл. 1), а при почти одинаковом значении общей пористости образцов нормально-влажностного твердения и твердевших в "сухой" среде эффективная пористость бетона, твердевшего в "сухой" среде, почти на 1% меньше по сравнению с образцами бетона нормального твердения.

Анализ результатов исследований порового пространства бетона, полученных в виде зависимостей между объемом пор данного радиуса в единице объема исследуемого пространства и радиусом пор и капилляров, показывает, что дифференциальные кривые для образцов нормального твердения и в "сухой" среде идентичны, но отличаются от аналогичных зависимостей для образцов после паропрогрева, что видно из табл. 2.

Дифференциальные и интегральные кривые распределения пор по их размерам для образцов нормального твердения отличаются несколько смещенными максимумами в сторону уменьшения размеров по сравнению с образцами, твердевшими в "сухой" среде.

Структура образцов, твердевших в "сухой" среде по оптимальному режиму, довольно плотная, поры распределены более или менее равномерно и имеют сходство со структурой образцов нормального твердения. Это подтверждается результатами электронно-микроскопического анализа. На рис. 1–3 приведены микрофотографии поверхности сколов образцов цементного камня и бетона различных видов твердения в 28-суточном возрасте.

Поровая структура цементного камня нормального твердения представлена порами круглой или овальной формы, обрамленными кристаллами гид-

Т а б л и ц а 1. Влияние условий твердения на пористость бетона

Условия твердения	Эффективная пористость бетона, $\bar{m}$		Относительная влажность $\varphi$ , %	Температура $t$ , $\pm^{\circ}\text{C}$
	см <sup>3</sup> /г	%		
Нормальное	0,052	12,0	85–90	18
Паротепловое	0,072	16,5	90–95	80
В "сухой" среде	0,049	11,2	35–40	130

Т а б л и ц а 2. Влияние условий твердения на распределение пор по размерам

Условия твердения	Распределение пор по размерам			
	Радиусы пор, $\text{Å}$			
	< 25	25–50	50–100	100–200
Нормально-влажностное	37,3	25,2	21,3	16,2
В "сухой" среде	38,0	27,0	25,0	10,0
Паротепловое	24,4	17,6	18,0	40,0

росиликатов кальция иногда игольчатыми кристаллами этtringита и карбонатов кальция (рис. 1, а).

Микроструктура сколов образцов бетона (рис. 1, б), твердевших в нормальных условиях ( $V/C=0,61$ ), представлена довольно плотными образованиями гелевой массы с частично непрореагированными зернами цемента. Вокруг крупных пор за внутренней плотной зоной можно наблюдать пористые участки, образованные переплетениями мелких кристаллов гидросиликатов и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а также участки из силикатного геля.

Микрофотографии, полученные с поверхности сколов образцов бетона, твердевшего в "сухой" среде, свидетельствуют о формировании плотной структуры с равномерным распределением порового пространства по всему объему образцов (рис. 2).

На стереоэлектронограммах довольно отчетливо проявляется зона контакта заполнителя с продуктами гидратации цемента без видимых трещин и деформаций.

При тепловой обработке в "сухой" среде морфология продуктов гидратации цемента представлена агрегатами гидратных новообразований, состоящих из сферолитов гидросиликатов кальция, покрытых тонкими гелеобразными образованиями, и мелких гексагональных пластинок  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (рис. 2).

Такой характер формирования структуры при тепловой обработке изделий в "сухой" среде, по-видимому, объясняется особенностями тепловлажностного режима тепловой обработки, при котором миграция тепловлажностного фронта создает избыток растворимых новообразований цемента, кристаллических и аморфных гидросиликатов кальция и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Последние в процессе гидратации равномерно заполняют поры, где первоначально находилась жидкость, уменьшая при этом их размеры. В результате образуется микроструктура с замкнутыми порами круглой и сферической форм, которые по общепринятому представлению, должны характеризовать материалы с наилучшими физико-механическими свойствами.

На рис. 3 представлена структура образцов цементного камня после паротепловой обработки.

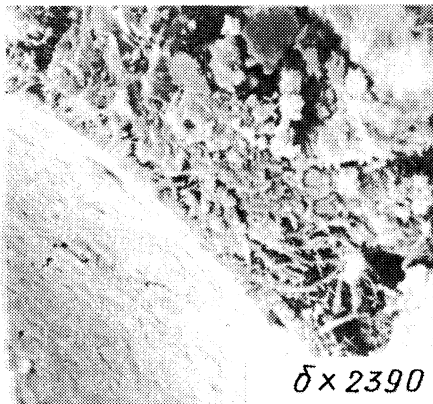
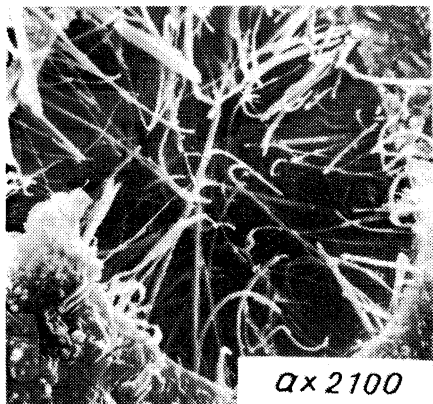


Рис. 1 Микрофотографии сколов цементного камня (а) и бетона (б), твердевших в нормальных условиях.

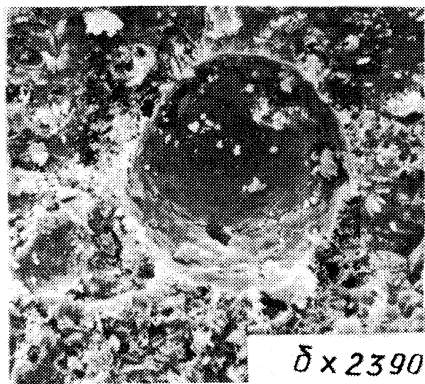
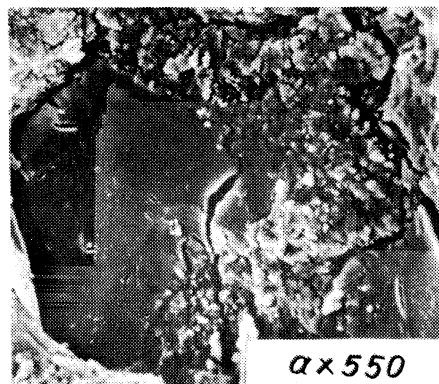


Рис. 2. Микрофотография сколов цементного камня (а) и бетона (б), твердевших в "сухой среде".

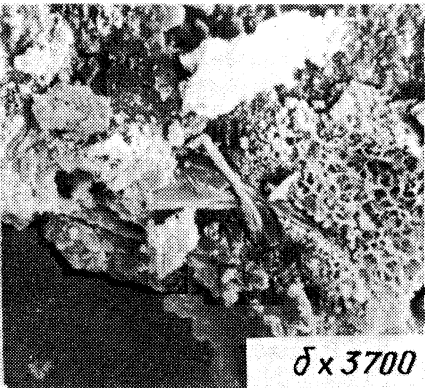


Рис. 3. Микрофотографии сколов цементного камня (а) и бетона (б), твердевших в паровой среде.

На микрофотографиях видны несколько типов пор, различающихся по размеру и форме. Структура неоднородная, имеются трещины различной конфигурации и величины. Внутренняя поверхность пор неровная, со вздутиями, что объясняется наличием влаги, гелеобразных продуктов гидратации цемента. Хорошо просматриваются участки с сеткой пор различной формы, образованные кристаллами гидросиликатов кальция, сростками кристаллов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , характерными для паротепловой обработки.

После паропрогрева в образцах бетона наблюдается та же закономерность в формировании крупных пор, как и для цементного камня.

Такую пористость образцов бетона, твердевших в различных условиях, можно объяснить условиями тепло- и массообмена с окружающей средой. Известно, что слой конденсата, образующийся в процессе паротепловой обработки на открытой поверхности образцов, в период разогрева вызывает миграцию влаги по сечению и плоскости. Кроме того, в бетоне возникают значительные внутренние давления вследствие расширения паровоздушной смеси и влаги, содержащихся в нем. Это приводит к деструктивным явлениям в материале с образованием пор большего размера.

В "сухой" среде за первый час тепловой обработки в бетоне возникают градиенты температур, направленные к поверхности и вызывающие тепло- и массоперенос к внутренним слоям при его неизменяющемся среднем влагосодержании.

Таким образом, тепло- и массоперенос в "сухой" среде способствует созданию благоприятных температурно-влажностных условий в термообрабатываемом бетоне и созданию в нем сравнительно равномерной структуры с преобладанием микропор и микрокапилляров.

## Л и т е р а т у р а

1. Солдаткин М.Т., Акельев В.Д., Стаховская Л.Е. Исследование поровой структуры бетона, термообработанного в установках с теплоизлучающими поверхностями. — В кн: Строит. теплофизика и микроклимат зданий. Минск, 1977, вып. 17, с. 80–85.
2. Солдаткин М.Т., Акельев В.Д., Стаховская Л.Е. Некоторые термодинамические особенности определения пористости строительных материалов методом СВЧ. — Изв. вузов. Сер. стр-во и архит., 1976, № 4, с. 150–155.