

Гольцов Юрий Иванович

Goltzov Yuri Ivanovich

Ростовский Государственный строительный университет
Rostov State University of Civil Engineering, Physics department

Доцент кафедры физики

Associate professor of Physics department

E-Mail: vollmann@mail.ru

Щербань Евгений Михайлович

Scherban Evgeniy Mikhailovich

Ассистент кафедры технологии вяжущих веществ,
бетонов и строительной керамики (ТВВБиСК)

Junior member of teaching or research staff of Astringents,
concretes and building ceramics technologies department (АСВСТ)

E-Mail: au-geen@mail.ru

Стельмах Сергей Анатольевич

Stelmakh Sergey Anatolievich

Ассистент кафедры ТВВБиСК

Junior member of teaching or research staff of АСВСТ

E-Mail: sergej.stelmax@mail.ru

Явруян Хунгианос Степанович

Yavruyan Khungianos Stepanovich

Заведующий кафедрой ТВВБиСК

Head of the department АСВСТ

E-Mail: xungian@rambler.ru

Ростовский государственный строительный университет

Rostov State University of Civil Engineering

05.23.05 Строительные материалы и изделия

Обработка пенобетонной смеси переменным электрическим полем как фактор улучшения конструкционных свойств пенобетонов

Foam concrete compound treatment by means of the alternating electrical field as an improvement agent of foam concrete structural properties

Аннотация: Исследовано влияние переменного электрического поля на уплотнение пенобетонной смеси. Проанализировано влияние обработки пенобетонных смесей переменным электрическим полем на улучшение конструкционных свойств пенобетонов. Путём воздействия переменным электрическим полем на частицы минерального заполнителя была достигнута более плотная упаковка данных частиц в межпоровых перегородках. Был определён диапазон резонансных частот колебаний твёрдых частиц в пенобетонных смесях с заполнителями различной дисперсности. Проведены испытания образцов, изготовленных из обработан-

ной и необработанной смеси, и приведены результаты сравнения их свойств, вследствие чего выявлена эффективность данного метода обработки.

The Abstract: The alternating electrical field influence at the compaction of foam concrete compound is studied. The analysis of the effect of treatment foam concrete mixtures by alternating to improve the structural properties of foam concrete. By the impact of alternating electric field on particles of mineral filler more dense packing of data particles in interpore partitions was achieved. The range of resonant frequencies of oscillations of solid particles in the foam concrete mixes with fillers of different dispersity was defined. The samples, manufactured from treated and untreated mixtures, are tested and the results of comparison of their properties are present due to which the effectiveness of this method of processing is revealed.

Ключевые слова: Пенобетон, теплоизоляционные свойства, заполнитель, межпоровая перегородка, зерна заполнителя, электрическое поле, фракция, резонансная частота, электро-виброобработка, кварцевый песок, портландцемент.

Keywords: Foam concrete, heat-insulating properties, filler, interpore partition, filler grains, electrical field, fraction, resonance frequency, vibroelectrotreatment, silica sand, Portland cement.

Традиционный неавтоклавный пенобетон обладает целым рядом преимуществ перед другими теплоизоляционными материалами и хорошо востребован в современном строительстве.

Дальнейшее повышение теплоизоляционных свойств пенобетона связано с увеличением его пористости при оптимальной организации порового пространства. Однако при этом обычно уменьшается прочность пенобетонных изделий, что затрудняет выполнение транспортных и монтажных работ.

Как известно, прочностные свойства ячеистых бетонов в значительной степени зависят от физико-механических свойств материала межпоровых перегородок и, в частности, от его плотности [1]. Однако в реальных материалах плотная упаковка твёрдых частиц в полной мере не достигается из-за угловатости и шероховатости зёрен заполнителя. В технологии тяжёлых бетонов проблему уплотнения структуры обычно решают с помощью механического вибрирования, и более упорядоченное расположение зёрен заполнителя является результатом действия гравитационных сил после тиксотропного разжижения цементного раствора. Исходя из размеров зёрен заполнителя в тяжёлых бетонах, для этого обычно используют колебания низких частот (50-100 Гц). Однако в пенобетоне частицы инертных компонентов имеют размеры менее 1 мм, что требует повышения частоты вибрирования в 10^2 и более раз. Колебания таких частот в вязких средах быстро затухают, а повышение их мощности часто приводит к нежелательному изменению поровой структуры пенобетона, что и было зафиксировано в ряде работ.

Ранее нами был предложен способ уплотнения материала межпоровых перегородок (за счёт ликвидации в нём капиллярной пористости и увеличения площади межчастичных фазовых контактов) при помощи воздействия на сформировавшуюся пенобетонную смесь переменного электрического поля [2].

Как известно, частицы цемента и минерального заполнителя, в частности кварцевого песка, имеют поверхностный электрический заряд [3, 4]. В начальный период гидратации цементных частиц в смеси и возникновения коагуляционных межчастичных контактов твёрдые заряженные частицы в жидкой среде находятся во «взвешенном» равновесном состоянии с фиксацией преимущественно в положениях дальнего энергетического минимума [5]. Дейст-

вие силы электростатического отталкивания препятствует непосредственному контакту частиц. Вместе с тем, на некоторых пограничных участках они будут продолжать испытывать межчастичное притяжение. Силы притяжения и отталкивания уравниваются на определенном расстоянии от поверхности раздела соседних частиц, когда их потенциальная энергия минимальна. Таким образом, смещения непрореагировавших частиц цемента и заполнителя, находящихся в гелеобразной среде гидратных фаз, будут иметь упруго-вязкий характер. При внешнем периодическом воздействии на такую структуру (например, вибрировании), произойдет изменение пространственной упаковки твердых частиц. В результате увеличения доли фазовых контактов (типа «плоскость - плоскость») между частицами заполнителя их взаимодействие после кристаллизации гидратных фаз будет усиливаться, что вызовет рост прочности межпоровых перегородок и, таким образом, всего объема ячеистого бетона. Кроме того, относительное перемещение цементных частиц при вибрировании будет способствовать повышению плотности новообразований в местах контакта частиц и, тем самым, увеличению их связующей способности, ускорению процесса твердения цемента и, вследствие этого, сохранению устойчивой поровой структуры пенобетона. Влияние вынужденных механических колебаний будет максимальным при совпадении их частоты с частотой собственных колебаний частиц. Возбудить колебания твердых частиц в объеме межпоровых перегородок можно, поместив пенобетонную смесь в переменное электрическое поле. Тогда твердые частицы будут колебаться под воздействием электрической силы в соответствии с законом изменения напряженности электрического поля. Важным обстоятельством при оценке эффективности использования электрического поля как источника вынужденных колебаний является то, что решающее влияние на достижение частицами более плотной упаковки оказывает не амплитуда колебаний, а их частота, поэтому устойчивая поровая структура пенобетона при виброобработке будет максимально сохраняться. Как следует из литературных данных, полное разрушение межчастичных структурных связей и последующее разжижение цементного теста наступает на частоте 20 кГц при амплитуде вибрации 13 мкм. По-видимому, при такой амплитуде смещения частиц соизмеримы с радиусом действия ван-дер-ваальсовых сил.

Для реализации предлагаемого способа регулирования микроструктуры цементного камня в межпоровых перегородках вначале было необходимо определить диапазон резонансных частот колебаний твердых частиц в пенобетонных смесях с заполнителями различной дисперсности, в качестве которых были использованы измельченный природный кварцевый песок и его фракции: 0,63 – 0,315 мм, 0,315 – 0,16 мм и менее 0,16 мм. Для опыта была использована специальная измерительная ячейка с цилиндрическими коаксиальными электродами. Её заполняли приготовленной пенобетонной смесью и подключали к генератору низких частот ГЗ-118. Величина приложенного напряжения составляла 0,1 В. Силу переменного тока в цепи ячейки измеряли с помощью мультиметра В7-21А. Длительность опыта по снятию частотной характеристики измерительной ячейки с пенобетонной смесью была такой, что за это время реологические свойства и электросопротивление смеси практически не менялись. Значение силы тока I_{ω} , определяющего величину электрической мощности, получаемой от генератора на поддержание вынужденных колебаний частиц заполнителя, находили как разность между полным током и током сквозной проводимости.

Как и предполагалось, поглощение энергии пенобетонной смесью имеет резонансный характер. Положение максимума на кривой $I_{\omega}(\omega)$ соответствует, очевидно, средневзвешенному размеру зерна в составе фракции заполнителя и закономерно смещается в сторону больших частот (таблица 1).

Таблица 1

Диапазон резонансных частот колебаний твёрдых частиц в пенобетонной смеси

Вид заполнителя	Размер фракции, мм	Область резонансных частот колебаний твёрдых частиц, кГц
Кварцевый песок	< 0,16	180-200
	0,16 – 0,315	50-60
	0,315 – 0,63	1-2
	Смешанная фракция (измельчённый природный песок) 0,16 – 0,63	6-8

Результаты проведённых опытов позволили продолжить исследования по оценке влияния электровиброобработки на физико-механические свойства затвердевших пенобетонов с использованием стандартных образцов. Для приготовления пенобетонных смесей использовали бездобавочный портландцемент (ПЦ 500–Д0) с $R_{ц}=42\div 43$ МПа, специально подготовленные пески различной гранулометрии и синтетический пенообразователь «Центрипор». Пенобетонную смесь готовили в турбулентном смесителе за один приём. В процессе приготовления вязкость цементно-песчаных шликеров поддерживалась постоянной и составляла 350 мм (по Суттарду). Плотность пенобетонной смеси равнялась 640–660 кг/м³. Для изготовления образцов-кубов с ребром 7 см подготовленную пенобетонную смесь укладывали в формы из диэлектрического материала с плоскими металлическими электродами, расположенными на двух противоположных боковых сторонах. Обработку пенобетонной смеси электрическим полем проводили сразу же после её укладки. Для этого электроды подсоединяли к генератору переменного электрического напряжения ГЗ-109. Оптимальное время воздействия переменного электрического поля напряжённостью 1,5 В/см составило 1 мин. Одновременно готовили контрольные образцы-кубы из необработанной электрическим полем пенобетонной смеси. Затем обе партии образцов твердели в нормальных условиях и были испытаны в проектном возрасте. Определение физико-механических свойств образцов (средней плотности в сухом состоянии, предела прочности при сжатии при нормируемой влажности 10 % и однородности этих свойств) производили по стандартным методикам. Сравнение пенобетонов из обработанной и необработанной пенобетонных смесей проводили также по величине коэффициента конструктивного качества (ККК), представляющего собой отношение средней прочности пенобетона R_{10} (кПа) к его средней плотности ρ_0 (кг/м³). За показатель эффективности электровиброобработки было принято относительное изменение (в %) ККК пенобетона, полученного из необработанной и обработанной электрическим полем смесей [6]. Результаты испытаний образцов пенобетона из обработанных и необработанных смесей на основные физико-механические свойства представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты сравнения свойств пенобетонов из обработанной и необработанной
пенобетонных смесей

Фракционный состав заполнителя (кварцевый песок), мм	Частота электро-виброобработки, кГц	Свойства пенобетонов						Эффективность обработки, %
		Предел прочности при сжатии, МПа		Средняя плотность, кг/м ³		Коэффициент конструктивного качества, кПа·м ³ /кг		
		Необраб.	Обраб.	Необраб.	Обраб.	Необраб.	Обраб.	
< 0,16	180	0,82	0,83	532	498	1,5	1,7	13
0,16 – 0,315	60	0,95	0,97	491	469	1,7	2,0	18
0,315-0,63	1	0,85	0,83	526	520	1,6	1,6	0
Смешанная фракция 0,16 – 0,63	6	0,84	0,81	530	521	1,6	1,6	0

Анализ полученных результатов выявил эффективность электровиброобработки пенобетонной смеси. Пенобетон из обработанной смеси имеет более низкую плотность вследствие того, что при кратковременной электровиброобработке произошло уплотнение материала межпоровых перегородок и, соответственно, увеличение объёма пор без нарушения целостности каркаса материала. Эти изменения в структуре пенобетона привели к незначительному увеличению прочности в сравнении с контрольными образцами, однако ККК пенобетона составил 2,0 кПа·м³/кг и на 18 % превысил аналогичный показатель для контрольных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология теплоизоляционных материалов // Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, А.А. Устенко. - М.: Стройиздат, 1980. - 399 с.
2. Щербань Е.М., Ткаченко Г.А., Гольцов Ю.И., Стельмах С.А. О влиянии обработки пенобетонной смеси переменным электрическим полем на свойства пенобетона // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1; URL: www.science-education.ru/101-5445
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. - М.: Изд-во АСВ, 2007. - 528 с.
4. Айлер Р. Химия кремнезёма / Под ред. д-ра техн. наук проф. В.П. Прянишникова. - М.: Мир, 1982. Ч. 2. - 712 с.
5. Шахова Л.Д. Технология пенобетона. Теория и практика. Монография. - М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. - 248 с.
6. Щербань Е.М., Гольцов Ю.И., Ткаченко Г.А., Стельмах С.А. Рецептурно-технологические факторы и их роль в формировании свойств пенобетонов, полученных из смесей, обработанных переменным электрическим полем // Инженерный вестник Дона. - 2012. - № 3; URL: www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/899